WILLIAM BYNUM

KRÓTKA HISTORIA

NAUKI

Plik jest zabezpieczony znakiem wodnym

WILLIAM BYNUM

KRÓTKA HISTORIA NAUKI

WYDAWNICTWO RM

Krótka historia nauki

William Bynum

Tłumaczenie: Katarzyna Skawran

Originally published in 2011 by Yale University Press
as A LITTLE HISTORY OF SCIENCE

© 2012 William Bynum
All rights reserved

Polish language translation © 2016 Wydawnictwo RM
Wydawnictwo RM, 03-808 Warszawa, ul. Mińska 25
rm@rm.com.pl
www.rm.com.pl

Żadna część tej pracy nie może być powielana i rozpowszechniana, w jakiejkolwiek formie i w jakikolwiek sposób (elektroniczny, mechaniczny) włącznie z fotokopiowaniem, nagrywaniem na taśmy lub przy użyciu innych systemów, bez pisemnej zgody wydawcy. Wszystkie nazwy handlowe i towarów występujące w niniejszej publikacji są znakami towarowymi zastrzeżonymi lub nazwami zastrzeżonymi odpowiednich firm odnośnych właścicieli.
Wydawnictwo RM dołożyło wszelkich starań, aby zapewnić najwyższą jakość tej książce, jednakże nikomu nie udziela żadnej rękojmi ani gwarancji.
Wydawnictwo RM nie jest w żadnym przypadku odpowiedzialne za jakąkolwiek szkodę będącą następstwem korzystania z informacji zawartych w niniejszej publikacji, nawet jeśli Wydawnictwo RM zostało zawiadomione o możliwości wystąpienia szkód.

W razie trudności z zakupem tej książki prosimy o kontakt z wydawnictwem:
rm@rm.com.pl

ISBN 978-83-7773-556-5
ISBN 978-83-7773-699-9 (ePub)
ISBN 978-83-7773-700-2 (mobi)

Redaktor prowadzący: Agnieszka Trzebska-Cwalina
Redakcja: Justyna Mrowiec
Korekta: Składnica Literacka
Nadzór graficzny: Grażyna Jędrzejec
Opracowanie graficzne okładki i książki wg oryginału: Grażyna Jędrzejec
Opracowanie wersji elektronicznej: Marcin Fabijański
Weryfikacja wersji elektronicznej: Justyna Mrowiec

Spis treści

1 Początki

2 Igły i liczby

3 Atomy i próżnia

4 Ojciec medycyny: Hipokrates

5 Mistrz tych, którzy wiedzą: Arystoteles

6 Cesarski medyk: Galen

7 Nauka w islamie

8 Wieki ciemne

9 Poszukiwanie kamienia filozoficznego

10 Odkrywanie ludzkiego ciała

11 Gdzie jest centrum wszechświata?

12 Krzywa wieża i teleskop: Galileusz

13 Cyrkulacja krwi: Harvey

14 Wiedza to potęga: Bacon i Kartezjusz

15 Nowa chemia

16 Rzucone do góry: Newton

17 Błyskawice

18 Wszechświat jako mechaniczny zegar

19 Porządkowanie świata

20 Powietrze i gazy

21 Drobiny materii

22 Siły, pola i magnetyzm

23 Świat dinozaurów

24 Historia naszej planety

25 Najwspanialsze widowisko świata

26 „Cegiełki” organizmu: komórki

27 Kaszel, kichanie i choroby

28 Silniki i energia

29 Tablica pierwiastków

30 Wewnątrz atomu

31 Promieniotwórczość

32 Zmiana zasad: Einstein

33 Wędrówka kontynentów

34 Co dziedziczymy?

35 Skąd pochodzimy?

36 Cudowne leki

37 „Cegiełki” komórki: RNA i DNA

38 Projekt poznania ludzkiego genomu

39 Wielki Wybuch

40 Nauka w erze cyfrowej

ROZDZIAŁ 1

Początki

Nauka jest wyjątkowa. To najlepsza znana nam metoda poznawania świata i wszystkiego, co na nim istnieje – także nas.

Od tysięcy lat ludzie zadawali pytania o to, co widzą wokół siebie. Odpowiedzi, które na nie padały, zmieniały się z czasem i to znacznie. Sama nauka również. Dzięki temu rozwijała się w sposób dynamiczny na bazie idei i ustaleń przekazywanych z pokolenia na pokolenie. Gwałtowny postęp rodził się wraz z dokonywaniem całkiem nowych odkryć. Nie zmieniały się natomiast ciekawość, wyobraźnia oraz inteligencja osób uprawiających naukę. Dzisiaj wiemy znacznie więcej niż ludzie żyjący 3 tysiące lat temu, ale ci spośród tych, którzy dogłębnie zastanawiali się nad światem, byli równie mądrzy jak my.

Ta książka nie traktuje wyłącznie o mikroskopach i probówkach w laboratoriach, choć właśnie większość ludzi tak postrzega naukę. W dawnych wiekach nauka, podobnie jak magia, religia i technika, przeważnie miała pomóc zrozu-

mieć świat i zapanować nad nim. Nauką może być coś tak prostego jak obserwacja wschodów Słońca co rano, ale też coś bardzo skomplikowanego, jak identyfikowanie nowego pierwiastka chemicznego. Za magię można uznać spoglądanie w gwiazdy w celu przepowiadania przyszłości albo to, co nazywamy przesądami – wiarę, że przebiegający drogę czarny kot przynosi pecha. Religia może wymagać składania bogom ofiar ze zwierząt albo modlenia się za pokój na świecie. Technika może oznaczać umiejętność rozpalenia ognia albo zbudowania nowego komputera.

Naukę, magię, religię i technikę wykorzystywały już najstarsze społeczności zamieszkujące doliny rzek w Indiach, Chinach i na Bliskim Wschodzie. W tych żyznych regionach plony były co roku na tyle obfite, że można było wyżywić wielu ludzi. Dzięki temu niektórzy członkowie tych społeczności mieli czas na to, by poświęcić swoją uwagę innym celom. Skupiając się na jednej rzeczy, nieustannie się nią zajmowali i osiągali w niej biegłość. Ci pierwsi „uczeni” (choć wówczas tak ich nie nazywano) zapewne byli kapłanami, duchowymi przewodnikami swoich ludów.

Na początku technika (zajmująca się aspektem praktycznym) była ważniejsza od nauki (dotyczącej aspektu teoretycznego). Zanim zbierzesz plony, uszyjesz ubrania i ugotujesz jedzenie, musisz wiedzieć, co i jak masz zrobić. Nie musisz natomiast rozumieć, **dlaczego** niektóre rośliny są trujące, a inne jadalne, aby unikać tych pierwszych i sadzić tylko te drugie. Nie musisz znać powodu wschodu Słońca każdego ranka i jego zachodu co wieczór, aby codziennie one następowały. Jednak ludzie nie tylko potrafią obserwować otaczający ich świat, są też ciekawi świata, a ta ciekawość leży u podstaw nauki.

O mieszkańcach Babilonu (dzisiejszy Irak) wiemy więcej niż o innych starożytnych cywilizacjach z prostego powodu

– pisali oni na glinianych tabliczkach. Zachowało się mnóstwo takich tabliczek powstałych 6 tysięcy lat temu. Z nich dowiadujemy się, jak Babilończycy postrzegali świat. Stworzyli wysoce zorganizowane społeczeństwo i skrupulatnie zapisywali dane o zbiorach, zapasach i finansach państwa. Babilońscy kapłani poświęcali mnóstwo czasu na śledzenie liczb i faktów z ówczesnego życia. Byli także głównymi „naukowcami" mierzącymi grunty i odległości, patrzącymi w niebo oraz rozwijającymi metody liczenia. Do dziś korzystamy z niektórych ich wynalazków. Tak jak oni stawiamy pionowe kreski, by ułatwić sobie liczenie. Niejednokrotnie odbywający karę więzienia odliczają lata upływające im w celi, rysując takie same cztery pionowe kreski przekreślane piątą, jak czynili to przodkowie Irakijczyków. Co istotniejsze, to właśnie Babilończycy przyjęli, że minuta ma 60 sekund, godzina – 60 minut, kąt pełny – 360 stopni, a tydzień – siedem dni. Zadziwiające, że nie istnieje żaden konkretny powód, aby minuta składała się właśnie z 60 sekund, a tydzień – z siedmiu dni. Równie dobre byłyby inne wartości. A jednak system babiloński zapożyczyły liczne społeczeństwa i przyjął się on na stałe.

Babilończycy znali się na astronomii. Obserwując niebo, z biegiem lat zaczęli zauważać wzory w pozycjach gwiazd i planet na nocnym niebie. Wierzyli, że Ziemia znajduje się w centrum wszechrzeczy oraz że istnieją potężne – magiczne – związki między ludźmi a gwiazdami. Tak długo, jak ludzie uznawali Ziemię za centrum wszechświata, nie widzieli w niej planety. Podzielili nocne niebo na dwanaście części i każdej z nich nadali nazwę od określonej grupy gwiazd. Babilończycy, „grając" w niebiańskie „kropki i kreski", dostrzegli w niektórych konstelacjach kontury obiektów i zwierząt, na przykład wagę i skorpiona. W ten sposób stworzyli pierwszy zodiak, czyli podstawę astrologii opisują-

cej wpływ gwiazd na ludzi. W starożytnym Babilonie i przez wiele kolejnych stuleci astrologia i astronomia były blisko ze sobą powiązane. Dziś wiele osób zna swój znaku zodiaku (ja jestem Bykiem) i czyta horoskopy w gazetach i magazynach, aby dowiedzieć się, co ich czeka. Jednak współcześnie astrologii nie uznaje się za naukę.

Babilończycy byli tylko jedną z siedmiu potężnych społeczności na starożytnym Bliskim Wschodzie. Najwięcej nam wiadomo o Egipcjanach, którzy około 3,5 tysiąca lat przed naszą erą osiedlili się nad Nilem. Żadna cywilizacja wcześniej ani później nie była tak uzależniona od jednego elementu ukształtowania terenu. Życie Egipcjan zależało od potężnej rzeki, która co roku wylewała, nanosząc żyzny muł na pola położone na jej brzegach. Dzięki temu w następnym roku można było zebrać plony. Klimat w Egipcie jest bardzo gorący i suchy, dzięki czemu wiele elementów tej starożytnej cywilizacji przetrwało. Do naszych czasów zachowało się wiele artefaktów, w tym liczne rysunki i hieroglify, będące rodzajem pisma obrazkowego. Możemy je podziwiać i czerpać z nich wiedzę. Gdy Egipt został podbity – najpierw przez Greków, a później przez Rzymian – umiejętność czytania hieroglifów odeszła w zapomnienie. Przez blisko dwa tysiące lat nikt nie potrafił zrozumieć ich znaczenia. W 1799 roku w północnoegipskim miasteczku nieopodal Rosetty francuski żołnierz znalazł okrągłą tablicę w stosie rupieci. Zapisano na niej dekret trzema różnymi rodzajami pisma: hieroglifami, po grecku i w bardzo starej wersji pisma egipskiego, zwanego demotycznym. Kamień z Rosetty został przewieziony do Londynu i dziś można go oglądać w Muzeum Brytyjskim (British Museum). Uczeni odczytali grecki tekst, a następnie przetłumaczyli hieroglify, co sprawiło, że rozszyfrowali tajemnicze egipskie pismo. To nie-

zwykły przełom, dzięki któremu mogliśmy bliżej poznać wierzenia i praktyki starożytnych Egipcjan.

Egipska astronomia przypominała babilońską. Jednak dla ludzi mieszkających nad Nilem liczyło się przede wszystkim życie pozagrobowe, więc mieli oni bardziej praktyczne podejście do patrzenia w gwiazdy. Bardzo ważny był dla nich kalendarz, który mówił im nie tylko o tym, kiedy przypada najlepsza pora siania i sadzenia albo kiedy Nil wyleje, ale także, kiedy należy zorganizować uroczystości religijne. Ich „naturalny" rok miał 360 dni i dzielił się na 12 miesięcy, a każdy miesiąc – na trzy „tygodnie" trwające po dziesięć dni. Na końcu roku Egipcjanie dodawali jeszcze pięć dni, aby kalendarzowe pory roku nie przesuwały się względem astronomicznych. Wierzyli, że wszechświat ma kształt prostokątnego pudełka, że ich świat znajduje się na jego dnie, a Nil płynie dokładnie przez jego środek. Początek ich roku zbiegał się z wylewem Nilu. Z czasem powiązali go z pojawianiem się na nocnym niebie jasnej gwiazdy – Syriusza.

Na dworze rządzących Egiptem faraonów, podobnie jak w Babilonie, ważną pozycję zajmowali kapłani. Wierzono, że faraonowie byli bogami i mogli cieszyć się życiem po śmierci. Między innymi dlatego wznoszono im piramidy będące w istocie gigantycznymi pomnikami nagrobnymi. Faraonów, ich krewnych i wysokich dostojników państwowych – wraz ze sługami, ulubionymi zwierzętami, meblami, przedmiotami codziennego użytku i zapasami żywności – składano w tych ogromnych budowlach, gdzie zmarli oczekiwali na nowe życie w innym świecie. Aby zakonserwować doczesne szczątki osobistości, które nie mogły pojawić się w zaświatach cuchnące i w stanie rozkładu, Egipcjanie rozwinęli sztukę balsamowania zwłok. Przede wszystkim usuwali organy wewnętrzne (mózg wyjmowali przez nos za pomocą długiego haka) i umieszczali je w urnach. Resztę ciała mu-

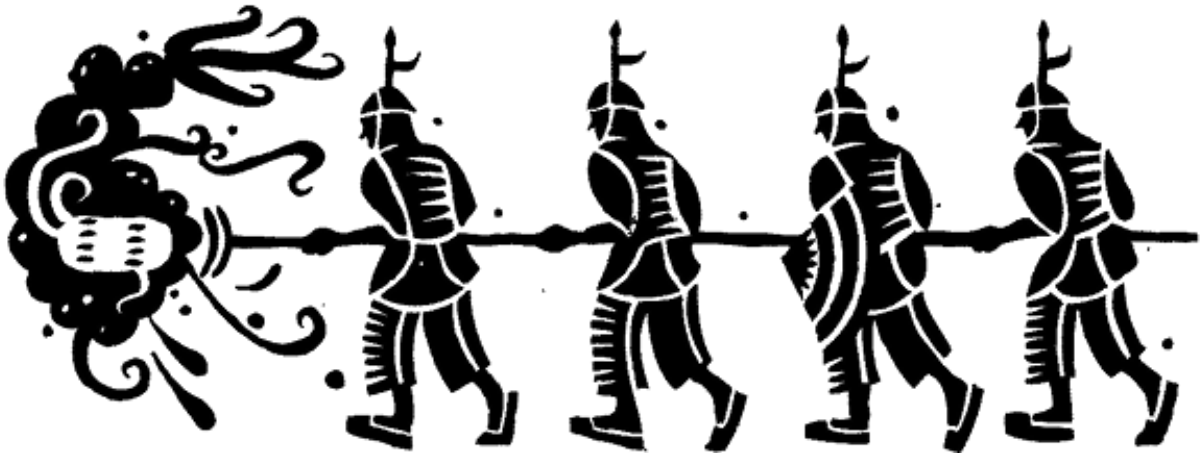
mifikowali, używając specjalnych środków chemicznych, a następnie owijali je lnianymi bandażami i składali w sarkofagu.

Balsamiści, z racji wykonywanych czynności, wiedzieli, jak wyglądają serce, płuca, wątroba i nerki. Niestety nie opisywali organów, które usuwali, więc nie wiemy, czy znali ich funkcje. Jednak zachowały się specjalistyczne papirusy dostarczające nam informacji o egipskiej medycynie ogólnej i chirurgii. Egipcjanie, co było powszechne w tamtym okresie, wierzyli, że przyczyny chorób mają po części religijne, magiczne i naturalne podłoże. Uzdrowiciele, podając pacjentom lekarstwa, recytowali więc zaklęcia. Jednak Egipcjanie wiele leków wynaleźli dzięki uważnej obserwacji przebiegu chorób. Niektóre z medykamentów umieszczanych przez nich na opatrunkach, zakładanych na zranienia lub rany pooperacyjne, chroniły przed zarazkami, a zatem pomagały w wyzdrowieniu. Działo się to tysiące lat przed tym, zanim ludzie dowiedzieli się, czym są bakterie.

W tamtym okresie podstawowymi dziedzinami, które można nazwać naukowymi, były algebra, astronomia i medycyna. Algebra – bo trzeba ustalić, ile potrzeba ziarna, zanim zacznie się siew na własne potrzeby i handel, albo czy ma się wystarczającą liczbę wojowników lub budowniczych piramid do swojej dyspozycji. Astronomia – gdyż Słońce, Księżyc i gwiazdy są tak ściśle powiązane z dniami, miesiącami i porami roku, że sumienne odnotowywanie ich położenia ma fundamentalny wpływ na kalendarz. Medycyna – ponieważ kiedy ludzie chorują lub zostają ranni, szukają pomocy. Jednak z braku wystarczającej liczby świadectw na piśmie, gdy badamy antyczne cywilizacje Bliskiego Wschodu, niejednokrotnie musimy zgadywać, dlaczego starożytni postępowali tak, a nie inaczej, albo w jaki sposób radzili sobie w codziennym życiu. Najtrudniej uzyskać informacje o prze-

ciętnych ludziach, ponieważ to głównie elita, która potrafiła czytać i pisać, zostawiła po sobie historyczne zapiski. Podobnie sprawa miała się z dwiema pozostałymi cywilizacjami starożytnymi, które powstały mniej więcej w tym samym czasie, ale w odleglejszej części kontynentu azjatyckiego – w Indiach i Chinach.

ROZDZIAŁ 2



Igły i liczby

Podróżując z Egiptu i Babilonu na wschód, dociera się na tereny, na których po obu stronach skalistych Himalajów rozkwitły starożytne cywilizacje – Indie i Chiny. Około 5 tysięcy lat temu ludzie żyli tam w miastach i miasteczkach rozrzuconych w dolinach Indusu i Jangcy. W tamtych czasach oba kraje zajmowały ogromne tereny, nawet większe niż obecnie. Stanowiły część rozległej lądowej i morskiej sieci kupieckiej, zogniskowanej wzdłuż szlaków handlu przyprawami korzennymi. Ich mieszkańcy wykształcili zaawansowaną sztukę pisania i naukę, która rozwijała się, gdyż bogactwa uzyskane z kupna i sprzedaży pozwalały na luksus, jakim było poświęcenie się studiom. Mniej więcej aż do połowy XVI wieku nauka w każdej z tych cywilizacji była równie wysoko rozwinięta jak w Europie. Indiom zawdzięczamy liczby i umiłowanie matematyki. Z Chin pochodzą papier, proch strzelniczy i przyrząd niezbędny do nawigacji – kompas.

Współczesne Chiny są jednym z najpotężniejszych państw świata. Produkowane tam towary, takie jak ubrania, zabawki i artykuły elektroniczne, trafiają do sklepów na całym świecie. Sprawdź choćby metkę swojego obuwia sportowego. Jednak przez stulecia ludzie z Zachodu spoglądali na to wielkie państwo jakby mało poważnie lub z podejrzliwością. Chińczycy robili wszystko po swojemu, a ich kraj wydawał się tajemniczy i odporny na zmiany.

Teraz wiemy, że Chiny zawsze były dynamiczne, a tamtejsza nauka nieustannie się rozwijała. Natomiast jedna rzecz przez stulecia pozostała niezmienna – pismo chińskie. Składa się ono z ideogramów, czyli małych obrazków przedstawiających obiekty. Wyglądają one dziwnie dla większości użytkowników alfabetu łacińskiego. Jeżeli jednak ktoś wie, jak interpretować te obrazki, wówczas odczyta stare – bardzo stare! – chińskie teksty równie łatwo jak niedawne zapisy. Chińczykom zawdzięczamy wynalezienie papieru, na którym pisanie było znacznie wygodniejsze niż na papirusie. Najstarszy zachowany kawałek papieru pochodzi z połowy II wieku.

Sprawowanie władzy w Chinach nigdy nie było proste, ale nauka niewątpliwie mogła w tym pomóc. Budowa Wielkiego Muru Chińskiego, będącego chyba największym zadaniem inżynieryjnym wszech czasów, rozpoczęła się w V wieku p.n.e. za panowania Wschodniej Dynastii Zhou. (Historia Chin dzieli się na okresy panowania dynastii związanych z potężnymi cesarzami i ich dworami). Mur miał chronić przed atakami barbarzyńców z północy, a także zatrzymywać Chińczyków na terenie cesarstwa, uniemożliwiając im próby migracji. Dokończenie budowy zajęło wiele stuleci – mur ciągle wydłużano i naprawiano. Obecnie ma 8850 km długości. (Przez pewien czas sądzono, że Wielki Mur jest widoczny z kosmosu, ale to nieprawda. Nawet chińskiemu

astronaucie nie udało się go wypatrzyć). Ważnym przedsięwzięciem inżynieryjnym była też budowa Wielkiego Kanału. Roboty rozpoczęły się w V wieku, za panowania dynastii Sui. Kanał ma około 1800 km i obejmuje odcinki naturalnych szlaków wodnych. Połączył Pekin na północy z Hangzhou na południowym wybrzeżu, a poprzez ten port – z całym światem. Te budowle to wspaniałe świadectwa umiejętności chińskich mierniczych oraz inżynierów, a także ogromu ciężkiej ludzkiej pracy. Chińczycy wynaleźli również taczki, dzięki którym praca na budowie stawała się nieco łatwiejsza.

Mieszkańcy Chin uważali, że wszechświat to rodzaj żywego organizmu, w którym wszystko jest ze sobą połączone siłami. Fundamentalną siłę, czyli energię, nazwali *Qi*. Dwie inne podstawowe siły określili jako *yin* i *yang*. Yin, pierwiastek żeński, jest związany z ciemnością, chmurami i wilgocią, a yang, pierwiastek męski, ze słońcem, upałem i ciepłem. Żadna rzecz nigdy nie jest wyłącznie yin albo yang – oba aspekty zawsze łączą się w różnych proporcjach. Według chińskiej filozofii każdy z nas zawiera w sobie pierwiastek yin i yang, a ich wzajemne proporcje i oddziaływania decydują o tym, kim jesteśmy i jak się zachowujemy.

Chińczycy wierzyli, że wszechświat jest zbudowany z pięciu żywiołów: wody, metalu, drewna, ognia i ziemi. Nie jest to jednak zwykła woda czy zwykły ogień, które widzimy wokół nas, lecz pierwotne elementy, które połączyły się, tworząc świat i niebiosa. Żywioły mają różne cechy, ale też splatające się moce (podobnie jak transformersy). Na przykład drewno może pokonać ziemię (drewnianym szpadlem kopie się ziemię), metalowym dłutem można rzeźbić w drewnie, ogień roztapia metal, woda gasi płomienie, a ziemny wał może powstrzymać przepływ wody. (Można o tym myśleć jak o wynalezionej w Chinach grze w papier,

kamień, nożyce). Pięć żywiołów wraz z siłami yin i yang wywołuje cykliczne przemiany czasu i przyrody, pory roku, powtarzalność narodzin i śmierci oraz ruchy Słońca, gwiazd i planet.

Wszystko zostało zbudowane z tych żywiołów i sił, więc w pewnym sensie jest żywe i ze sobą połączone. Dlatego w Chinach nigdy nie powstało pojęcie atomu jako podstawowej jednostki materii. Tamtejsi fizycy nie twierdzili, że muszą wyrazić wszystko za pomocą liczb, aby wyniki ich pracy zyskały miano naukowych. Arytmetyka była dziedziną bardzo praktyczną – przydatną do ważenia towarów, obliczania sum wydatkowanych przy ich kupnie i sprzedaży oraz wielu innych przedsięwzięć związanych z rachunkami. Liczydło, przyrząd z przesuwanymi koralikami na drutach, na którym być może wielu z nas uczyło się liczyć, zostało opisane dopiero pod koniec XVI wieku, ale prawdopodobnie wynaleziono je znacznie wcześniej. Posługiwanie się nim przyspieszyło praktyczne zliczanie, czyli dodawanie, odejmowanie, mnożenie i dzielenie.

Liczby wykorzystywano też do ustalania długości dni i lat. Już w XV wieku p.n.e. Chińczycy wiedzieli, że rok ma 365 dni i jedną czwartą dnia i, podobnie jak większość wczesnych cywilizacji, obserwowali Księżyc, aby ustalać długość miesięcy. Tak jak wszyscy starożytni, Chińczycy przyjęli, że rok jest równy ilości czasu potrzebnej, aby Słońce powróciło do określonego punktu wyjścia na niebie. Cykle ruchów gwiazd i planet, takich jak Jowisz, doskonale pasowały do teorii, że wszystko w przyrodzie odbywa się cyklicznie. Dla Chińczyków niezmiernie istotne było wyliczenie, jak długo całemu wszechświatowi zajmuje ukończenie pełnego cyklu. Ustalili, że trwa to 23 639 040 lat. A zatem kosmos był bardzo stary (dziś wiemy, że jest znacznie starszy). Ponadto Chińczycy uważali, że wszechświat ma określoną strukturę.

Niektóre z najstarszych chińskich map nieba dowodzą, że potrafili przedstawić zakrzywioną przestrzeń na dwuwymiarowej powierzchni. Xuan Le, żyjący w czasach Wschodniej Dynastii Han (25–220), wierzył, że Słońce, Księżyc i gwiazdy unoszą się w pustej przestrzeni i poruszane są przez wiatry. To przekonanie znacznie różniło się od wierzeń starożytnych Greków, którzy uważali, że ciała niebieskie są przymocowane do sztywnych sfer. Chiński obraz kosmosu był bardziej zbliżony do współczesnych wyobrażeń. Tamtejsi obserwatorzy gwiazd starannie odnotowywali niezwykłe wydarzenia astronomiczne, dzięki czemu ich zapiski, obejmujące bardzo dawne czasy, wciąż przydają się współczesnym astronomom.

Chińczycy wierzyli, że Ziemia jest bardzo stara, więc nie mieli problemów ze zidentyfikowaniem skamieniałości, takich jak szczątki dawniej żyjących zwierząt czy nieistniejących już roślin. Sklasyfikowali skały, biorąc pod uwagę ich twardość i kolor. Szczególnie cenili jadeit. Rzemieślnicy rzeźbili z niego piękne posążki.

Trzęsienia ziemi są w Chinach powszechne i choć starożytni Chińczycy nie umieli wyjaśnić, dlaczego się zdarzają, w II wieku n.e. uczony Zhang Heng potrafił je wykryć za pomocą zawieszonego na sznurku ciężarka, który się kołysał, gdy ziemia drżała. Była to pierwotna wersja współczesnego sejsmografu, czyli urządzenia rysującego kreskę, która zmienia się w zygzaki, gdy ziemia się zatrzęsie.

Chińczycy wykorzystywali magnetyzm do celów praktycznych. Nauczyli się, jak magnetyzować żelazo, podgrzewając je do wysokiej temperatury i schładzając, gdy było ustawione w osi północ–południe. Znali kompas na długo przed ludźmi Zachodu i używali go zarówno do nawigacji, jak i do przepowiadania przyszłości. Najczęściej budowali „mokre” kompasy – namagnetyzowana igła unosiła się w misce

wody. Mówimy, że igła wskazuje północ, ale zdaniem Chińczyków wskazywała południe. (Oczywiście nasze kompasy wskazują także południe – stronę przeciwną do czubka igły. Nie ma znaczenia, który koniec igły wybierzemy jako wskaźnik, o ile panuje co do tego powszechna zgoda).

Chińczycy byli utalentowanymi chemikami. Najlepsi zaliczali się do taoistów, czyli wyznawców filozofii stworzonej przez Laozi, który żył mniej więcej między VI a IV wiekiem p.n.e. (*Tao* znaczy droga albo ścieżka). Inni podążali za Konfucjuszem lub Buddą. Systemy filozoficzne tych religijnych przywódców miały wpływ na stosunek ich wyznawców do badania wszechświata. Religia zawsze rzutowała na sposób postrzegania otoczenia przez ludzi.

Chińczycy potrafili przeprowadzać reakcje chemiczne, które były dość zaawansowane jak na tamte czasy. Na przykład umieli destylować alkohol i inne substancje oraz wytrącić miedź z roztworu. Mieszając węgiel drzewny, siarkę i saletrę potasową, uzyskali pierwszy sztuczny środek wybuchowy – proch strzelniczy. Zaowocowało to wynalezieniem sztucznych ogni i broni palnej. Można było powiedzieć, że proch strzelniczy stanowił połączenie yin i yang w świecie chemii: pięknie eksplodował na wspaniałych pokazach sztucznych ogni na cesarskim dworze, a jednocześnie już w X wieku na Wschodzie posłużył do strzelania z lanc ognistych i dział na polach bitew. Nie wiadomo dokładnie, jak instrukcje wyrobu tej potężnej substancji trafiły do Europy, ale zachował się ich europejski opis z lat osiemdziesiątych XIII wieku. Za sprawą prochu wojny na całym świecie zaczęły stopniowo przynosić coraz więcej ofiar śmiertelnych.

Wśród Chińczyków byli też alchemicy szukający eliksiru życia, czyli substancji wydłużającej życie, a może nawet czyniącej ludzi nieśmiertelnymi. (Więcej na temat alchemii przeczytasz w rozdziale 9). Nie znaleźli go, a kilku cesarzy

żyłoby dłużej, gdyby nie zażyło eksperymentalnych, trujących „leków”. Jednak poszukiwania tej magicznej substancji doprowadziły do poznania wielu środków służących do leczenia zwykłych chorób. Chińscy lekarze, podobnie jak europejscy, używali ekstraktów roślinnych, a także tworzyli związki siarki, rtęci i inne. Stosowali bylicę do zwalczania gorączki. Robili z niej esencję i spalali ją w ściśle określonych punktach na skórze, aby ułatwić przepływ „soków życiowych”. O recepcie bylicowej dowiedziano się niedawno z książki o lekach napisanej około 1800 lat temu. Metodę przetestowano we współczesnym laboratorium i okazało się, że jest skuteczna na malarię, będącą dziś jedną z głównych chorób śmiertelnych w krajach tropikalnych, której jednym z objawów jest właśnie wysoka gorączka.

Już w II wieku p.n.e. w Chinach zaczęto spisywać medyczne traktaty, a starożytna chińska medycyna jest dziś znana na całym świecie. Powszechnie praktykuje się akupunkturę polegającą na wbijaniu igieł w wybrane obszary skóry. Pomaga ona zwalczać choroby, stres i ból. Metoda opiera się na idei, że przez ciało przebiegają kanały, którymi płynie energia Qi. Za pomocą igieł specjalista od akupunktury stymuluje lub odblokowuje te kanały. Czasami przeprowadza się operacje, znieczulając pacjentów jedynie za pomocą igieł wbitych w odpowiednie miejsca. Współcześni chińscy naukowcy pracują podobnie jak ich koledzy z Zachodu, ale tradycyjna chińska medycyna ma wielu zwolenników na całym świecie.

Popularność zyskała też tradycyjna medycyna indyjska zwana ajurwedą. Oparta jest na dziełach znanych pod zbiorczym tytułem *Ajurweda*, napisanych w starożytnym języku, sanskrycie, między II wiekiem p.n.e. a VI wiekiem n.e. U podstaw ajurwedy leży przekonanie, że w ciele człowieka znajdują się trzy rodzaje energii zwanej *dosha*: *vata* jest su-

cha, zimna i lekka, *pitta* – gorąca, kwaśna i pikantna, a *kapha* – zimna, ciężka i słodka. Wszystkie są niezbędne do prawidłowego funkcjonowania ciała. Gdy co najmniej jedna z nich występuje w nadmiarze lub gdy jednej brakuje bądź któraś jest na niewłaściwym miejscu, pojawia się choroba. Kiedy hinduski lekarz próbował postawić diagnozę, badał też skórę pacjenta i jego puls. Leki, masaże i specjalna dieta mogły przywrócić zakłóconą równowagę *dosha*. Lekarze w Indiach używali soku z maku, z którego powstaje opium, aby uspokoić pacjentów i ulżyć im w bólu.

Inny traktat medyczny ze starożytnych Indii, *Susruta*, dotyczył chirurgii. Niektóre opisane w nim operacje są niezwykle skomplikowane jak na tamte czasy. Na przykład gdy pacjent miał kataraktę (zmętnienie soczewki oka, które utrudnia widzenie), chirurg delikatnie wbijał igłę w gałkę oczną i przesuwał kataraktę na jedną stronę. Hinduscy chirurdzy używali także fragmentów skóry pacjenta, aby naprawić mu uszkodzony nos. Są to zapewne najwcześniejsze przykłady chirurgii plastycznej.

Medycyna ajurwedyjska była związana z hinduizmem. Gdy około 1590 roku w Indiach osiedlili się muzułmanie, przynieśli ze sobą własne metody leczenia oparte na starożytnej medycynie greckiej, zinterpretowanej przez pierwszych muzułmańskich lekarzy. Ta medycyna, zwana *Yunani* (co znaczy ‘grecka’), rozwijała się równolegle do ajurwedy. Do dziś oba rodzaje medycyny są praktykowane w Indiach wraz z dobrze nam znaną medycyną zachodnią.

Indie mają własną tradycję naukową. Hinduscy badacze gwiazd zaczerpnęli podstawy wiedzy o niebie, gwiazdach, Słońcu i Księżycu z dzieła greckiego astronoma Ptolemeusza oraz prac naukowych przywiezionych z Chin przez buddyjskich misjonarzy. W Udźdźajnie działało obserwatorium, w którym pracował jeden z pierwszych indyjskich na-

ukowców, Varahamihira (ur. około 505 roku). Zgromadził on stare traktaty astronomiczne i zanotował wyniki własnych obserwacji. Znacznie później, w XVI wieku, powstały obserwatoria astronomiczne w Delhi i Dźajpurze.

Indyjski kalendarz był dość dokładny. Mieszkańcy Indii, podobnie jak Chińczycy, wierzyli, że Ziemia jest bardzo stara. Jeden z ich cykli astronomicznych obejmował 4 320 000 lat. Hindusi poszukiwali też eliksiru zapewniającego długowieczność. Ponadto chcieli odkryć sposób wytwarzania złota ze zwykłych metali. Jednak największy wkład wnieśli w matematykę.

To z Indii, poprzez Bliski Wschód, zapożyczyliśmy cyfry zwane arabskimi: 1, 2, 3 itd. Koncepcja zera również pochodzi z tego kraju. Oprócz cyfr, którymi posługujemy się do dziś, indyjscy matematycy wprowadzili podstawowe pojęcie „pozycji dziesiętnej”. Weźmy na przykład liczbę 170, w której „1” = 100, bo zajmuje pozycję setek, „7” = 70, bo zajmuje pozycję dziesiątek, a zero zajmuje pozycję jedności. Dla nas jest to tak naturalne, że nawet o tym nie myślimy, ale gdyby nie te pozycje, zapisywanie dużych liczb byłoby znacznie bardziej skomplikowane. Najsłynniejszy staroindyjski matematyk, żyjący w VII wieku Brahmagupta, wymyślił, jak obliczać objętość graniastosłupów i innych brył. Jako pierwszy wspomniał o liczbie zero i wiedział, że cokolwiek pomnożone przez zero daje zero. Dopiero niemal 500 lat później inny słynny indyjski matematyk, Bhaskara (urodził się w 1114 roku), zajmował się również problemem dzielenia przez zero. Bez tych koncepcji niemożliwe byłyby współczesne matematyczne opisy świata.

Tradycyjne medycyny indyjska i chińska wciąż konkurują z zachodnią, inaczej jest jednak z nauką. Naukowcy ze Wschodu korzystają z tych samych koncepcji i narzędzi oraz mają podobne cele co ich koledzy z innych części świa-

ta. Dziś, czy to w Azji, czy gdziekolwiek indziej, uprawia się naukę uniwersalną, która rozwinęła się na Zachodzie.

Pamiętajmy jednak, że cyfry pochodzą z Indii, a papier – z Chin. Licząc przy pomocy tabliczki mnożenia i zapisując wyniki, korzystamy z bardzo starych, wschodnich wynalazków.

ROZDZIAŁ 3

Atomy i próżnia

Około 454 roku p.n.e. Herodot (żył około 485–421 p.n.e.), grecki historyk, odwiedził Egipt. Tak jak nas, zachwyciły go piramidy i gigantyczne, liczące 18 m wysokości, posągi w Tebach. Nie mógł uwierzyć, że już wtedy były tak stare. Chwała Egiptu przeminęła i dawno temu kraj ten został pokonany przez Persów. Herodot żył w znacznie młodszym, bardziej energicznym społeczeństwie, które wciąż się rozwijało i w następnym stuleciu, za panowania Aleksandra III Wielkiego (356–323 p.n.e.), miało podbić Egipt.

W czasach Herodota ludzie myślący i piszący po grecku dominowali w rozwijającej się wschodniej części basenu Morza Śródziemnego. Spisali dzieła ślepego poety Homera. To on opowiedział nam historię pokonania Trojan przez Greków, którzy zbudowali ogromnego konia z drewna i ukryli się w nim. On zdał także relację z pełnych fantastycznych przygód podróży greckiego bohatera Odyseusza, który wpadł na pomysł, jak wygrać wojnę trojańską. Grecy byli znakomitymi szkutnikami, kupcami i myślicielami.

Jednym z pierwszych greckich uczonych był Tales (żył około 620–540 p.n.e.), kupiec, astronom i matematyk pochodzący z Miletu leżącego na wybrzeżu dzisiejszej Turcji. Nie zachowały się żadne jego oryginalne pisma, ale późniejsi autorzy cytowali go i przytaczali opisujące go anegdoty. Według jednej z tych opowieści pewnego razu Tales tak intensywnie obserwował gwiazdy, że zapomniał patrzeć pod nogi i wpadł do studni. Innym razem wszedł na szczyt, a ponieważ był bystry, dostrzegł z niego, że szykują się obfite zbiory oliwek. Ukrył wszystkie prasy do wyciskania oliwy, zanim ktokolwiek ich potrzebował. Kiedy oliwki dojrzały, wynajmował prasy z dużym zyskiem. Tales nie był pierwszym roztargnionym uczonym – kolejnych poznamy później – i nie jedynym, który zarobił, wykorzystując w praktyce swoją wiedzę.

Ponoć Tales odwiedził Egipt, gdzie poznał tamtejszą matematykę, którą przekazał potem Grekom. Być może to tylko kolejna anegdota, jak ta, według której poprawnie przewidział całkowite zaćmienie Słońca (nie miał wystarczającej wiedzy astronomicznej, aby tego dokonać). Bardziej prawdopodobne jest, że próbował wyjaśnić wiele naturalnych zjawisk, takich jak użyźnienie pól przez wylewy Nilu i podgrzewanie wody pod skorupą ziemską podczas trzęsień ziemi. Według Talesa woda była najważniejszym żywiołem. Uczony przedstawiał Ziemię jako dysk unoszący się na ogromnym oceanie, co dla nas współcześnie żyjących brzmi dość śmiesznie. Jednak Tales usiłował wyjaśnić zjawiska i opisać świat w naturalny, a nie nadprzyrodzony sposób, jak na przykład Egipcjanie, którzy sądzili, że Nil wylewa za sprawą bogów.

W odróżnieniu od Talesa inny filozof Anaksymander (około 611–547 p.n.e.), także z Miletu, uznał ogień za najważniejszą substancję we wszechświecie. Empedokles (około 483–423 p.n.e.) z Sycylii zaproponował koncepcję czterech ży-

wiołów: powietrza, ziemi, ognia i wody. Jest dobrze znana, ponieważ myśliciele hołdowali jej przez blisko 2000 lat, aż do końca średniowiecza.

Mimo że teoria czterech żywiołów rozpowszechniła się, nie wszyscy przyjęli ją jako ostateczną. W Grecji, a później także i w Rzymie, grupa filozofów, zwanych atomistami, wierzyła, że świat jest zbudowany z maleńkich cząstek, czyli atomów. Najsłynniejszym spośród pierwszych atomistów był Demokryt, urodzony około 460 roku p.n.e. Nasza wiedza o jego ideach pochodzi z zacytowanych przez innych autorów kilku fragmentów jego prac. Demokryt sądził, że we wszechświecie istnieje mnóstwo wiecznych atomów. Nie da się ich podzielić na mniejsze części ani zniszczyć. Choć były zbyt małe, aby dało się je zobaczyć gołym okiem, wierzył, że różnią się kształtem i wielkością i tym wyjaśniał, dlaczego większe obiekty, zbudowane z atomów, mają różną budowę, kolory i smaki. Jednak te większe obiekty istniały tylko dlatego, że ludzie mogli ich dotknąć, zobaczyć je czy ich skosztować. Demokryt twierdził, że w rzeczywistości istnieją tylko **atomy** i **próżnia**, które nazywamy materią i przestrzenią.

Atomizm nie był zbyt popularny. Uznaniem nie cieszył się także pogląd Demokryta i jego uczniów mówiący o tym, że istoty żywe „ewoluują” pod wpływem prób i błędów. Według jednej z zabawnych koncepcji istniało kiedyś mnóstwo różnych części roślin i zwierząt, które mogły się połączyć w dowolny sposób, na przykład trąba słonia mogła się przyczepić do ryby, płatek róży do ziemniaka itd., zanim w końcu dopasowały się do siebie tak, jak dzisiaj to widzimy. Gdyby jednak psia noga przypadkowo przyłączyła się do tułowia kota, takie zwierzę nie mogłoby przeżyć i dlatego nie istnieją koty o psich nogach. Po pewnym czasie wszystkie psie nogi przyrosły do psów i – na szczęście – wszystkie ludzkie

nogi do ludzi. (Inna grecka teoria ewolucji była bardziej realistyczna, choć nieco niesmaczna: wszystkie istoty żywe stopniowo wyłoniły się z prastarego śluzu).

Atomiści nie głosili istnienia żadnego ostatecznego celu lub wielkiego projektu wszechświata – rzeczy po prostu się zdarzały z przypadku i konieczności – co nie spodobało się większości ludzi. Taki pogląd był dość przygnębiający, a większość greckich filozofów poszukiwała celu, prawdy i piękna. Grecy, żyjący w tym samym czasie co Demokryt i jego koledzy atomiści, zapewne dobrze poznali całą ich argumentację. My znamy ją zaledwie z cytatów i dyskusji późniejszych filozofów. Atomista żyjący w czasach rzymskich, Lukrecjusz (około 97–55 p.n.e.), napisał piękny poemat naukowy *O naturze wszechrzeczy*. W kategoriach atomizmu opisał w nim niebo, Ziemię oraz wszystkie rzeczy i zjawiska na Ziemi, w tym ewolucję społeczeństwa.

Znamy imiona dziesiątek starożytnych greckich naukowców i matematyków żyjących na przestrzeni niemal tysiąca lat i ich wkład w naukę. Jednym z najwybitniejszych był Arystoteles. Jego poglądy na temat przyrody były tak powszechne, że dominowały jeszcze długo po jego śmierci (wrócimy do niego w rozdziale 5). Jednak to trzech ludzi żyjących już po Arystotelesie wywarło znaczny wpływ na rozwój nauki.

Euklides (około 330–260 p.n.e.) nie pierwszy interesował się geometrią (całkiem dobrzy byli w niej Babilończycy). Ale to on zebrał podstawowe założenia, reguły i procedury geometryczne w jednym podręczniku. Geometria to gałąź matematyki o bardzo praktycznym zastosowaniu. Dotyczy przestrzeni: punktów, linii, powierzchni i objętości. Euklides opisał różne pojęcia geometryczne, na przykład to, że linie równoległe nigdzie się nie przecinają, a suma kątów trójkąta wynosi 180°. Jego dzieło, *Elementy*, studiowano i podzi-

wiano w całej Europie. Pewnego dnia ty też możesz poznać jego „czystą geometrię”. Mam nadzieję, że zachwyci cię jej prostota i piękno.

Drugi matematyk z wielkiej trójki, Eratostenes (żył w latach 275–194 p.n.e.), wyznaczył obwód Ziemi w bardzo prosty, ale sprytny sposób, wykorzystując geometrię. Wiedział, że w dniu letniego przesilenia (w najdłuższym dniu roku) Słońce wznosi się pionowo nad Syeną (dzisiejszy Asuan). Zmierzył więc kąt padania promieni słonecznych tego dnia w Aleksandrii (gdzie zarządzał słynną Biblioteką Aleksandryjską), która leżała około 5000 stadionów na północ od Syeny. (Stadion to grecka miara odległości odpowiadająca około 185 metrom). Na podstawie tych pomiarów i zasad geometrii obliczył, że obwód Ziemi wynosi około 250 tysięcy stadionów. Czy dobrze policzył? Jego wynik (46 250 km) nie różni się wiele od długości równika (40 075 km). Warto zauważyć, że zdaniem Eratostenesa Ziemia była okrągła. Nie zawsze panowało przekonanie, że nasza planeta to ogromna, płaska powierzchnia, z której można spaść po dopłynięciu do jej krańca, choć takie historie opowiadano, gdy Krzysztof Kolumb podróżował do Ameryki.

Ostatni uczony z wielkiej trójki również pracował w Aleksandrii, mieście założonym przez Aleksandra III Wielkiego w północnym Egipcie. Ptolemeusz Klaudiusz (około 100–178 n.e.), jak wielu starożytnych uczonych, miał bardzo szerokie zainteresowania. Pisał o muzyce, geografii oraz naturze i zachowaniu światła. Nieprzemijającą sławę przyniósł mu jednak *Almagest* – dzieło zatytułowane tak przez Arabów. Ptolemeusz umieścił w nim i poszerzył wyniki obserwacji wielu greckich astronomów, w tym mapy nieba, obliczenia ruchów planet, Księżyca, Słońca i gwiazd oraz opis struktury wszechświata. Założył, podobnie jak mu współcześni, że Ziemia znajduje się w centrum wszechświata,

a wszystkie ciała niebieskie krążą wokół niej po koncentrycznych sferach. Był bardzo dobrym matematykiem. Twierdził, że wprowadzając kilka poprawek, jest w stanie wyznaczyć ruchy planet, które obserwował (podobnie jak wielu innych, którzy to przed nim czynili).

Bardzo trudno jednak wyjaśnić, że Słońce krąży wokół Ziemi, skoro w rzeczywistości jest odwrotnie. Dzieło Ptolemeusza było podstawową lekturą astronomów zrówno w krajach arabskich, jak i w średniowiecznej Europie. Ceniono je tak bardzo, że jako jedno z pierwszych zostało przetłumaczone na język arabski, a później z powrotem na łacinę. Wielu uznało Ptolemeusza za równego Hipokratesowi, Arystotelesowi i Galenowi.

ROZDZIAŁ 4

Ojciec medycyny: Hipokrates

Gdy następnym razem będziesz u lekarza, zapytaj go, czy kończąc studia medyczne, składał przysięgę Hipokratesa. Nie na wszystkich akademiach medycznych panują takie zwyczaje. Słowa tej napisanej ponad 2 tysiące lat temu przysięgi wciąż pozostają ważne. Pokrótce im się przyjrzymy.

Mimo że słynna przysięga nosi imię Hipokratesa, raczej nie on ją napisał. Prawdę mówiąc, Hipokrates jest autorem tylko kilku z około 60 przypisywanych mu traktatów medycznych. (Traktat to praca na określony temat). Niewiele wiadomo o Hipokratesie jako człowieku. Urodził się około 460 roku p.n.e. na wyspie Kos, położonej nieopodal dzisiejszej Turcji. Leczył, uczył medycyny (za pieniądze) i prawdopodobnie miał dwóch synów i zięcia, którzy zostali lekarzami. Jak widać, od bardzo dawna medycyna jest rodzinną tradycją.

Corpus Hippocraticum to zbiór rozpraw napisanych przez wielu różnych autorów na przestrzeni być może nawet 250

lat. Zawarte w nim traktaty przedstawiają różne punkty widzenia problemów medycznych. Omówiono w nich rozmaite kwestie, takie jak diagnozy i leczenie chorób, złamane kości i wybite stawy, epidemie, sposoby zachowania zdrowia, a przy tym odżywanie się i wpływ środowiska na zdrowie człowieka. W traktatach podpowiedziano także lekarzom, jak powinni się zachowywać zarówno w stosunku do pacjentów, jak i do innych lekarzy. Krótko mówiąc, *Corpus Hippocraticum* przedstawia ówczesny stan całej praktykowanej medycyny.

Równie ciekawe jak zakres tematyczny tego dzieła jest to, jak długo powstawały składające się na niego teksty. Hipokrates żył przed Sokratesem, Platonem i Arystotelesem na niewielkiej wyspie Kos. Zadziwiające, że przetrwało cokolwiek napisanego w tak zamierzchłej przeszłości. Nie było wówczas drukarni, a wszystkie teksty trzeba było żmudnie przepisywać ręcznie na pergaminie, zwojach papirusu, glinianych tabliczkach i innych powierzchniach, by następnie je sobie przekazywać. Atrament blaknął, a pergaminy ulegały zniszczeniu podczas wojen albo na skutek działania czynników naturalnych (np. owadów lub warunków pogodowych). Przeważnie zachowały się jedynie kopie tych zapisków, sporządzone przez późniejsze pokolenia zainteresowanych nimi czytelników. Im więcej kopii powstawało, tym większe były szanse, że niektóre fragmenty przetrwają.

Corpus Hippocraticum legł u podstaw zachodniej medycyny i do dziś Hipokrates zajmuje w niej szczególną pozycję. Przez stulecia medycy kierowali się trzema podstawowymi zasadami. Na pierwszej z nich wciąż opiera się współczesna medycyna i badania medyczne – na niezachwianym przekonaniu, że ludzie zapadają na choroby z powodów **naturalnych**, które mają racjonalne wytłumaczenie. Przed Hipokratesem w Grecji i sąsiednich państwach chorobom przy-

pisywano nadprzyrodzony charakter. Ludzie chorowali, ponieważ obrazili bogów albo jakieś pozaziemskie moce rzuciły na ludzi urok lub były z nich niezadowolone. A skoro to czarownice, magowie i bogowie sprowadzali choroby, najlepiej było pozostawić kapłanom lub magom ustalenie, dlaczego na kogoś spadła choroba i jak najlepiej ją zwalczyć. Wielu ludzi, nawet współcześnie, używa magicznych leków, a uzdrowiciele wciąż są wśród nas.

Autorzy *Corpus Hippocraticum* nie byli uzdrowicielami tylko lekarzami przekonanymi, że choroba jest naturalnym, normalnym wydarzeniem. Wyraźnie dowodzi tego jeden z traktatów – *O świętej chorobie*. Ten krótki tekst mówi o padaczce (epilepsji), wówczas równie powszechnej jak dziś. Przypuszczalnie cierpieli na nią Aleksander Wielki i Juliusz Cezar. Epileptycy mają napady, podczas których tracą przytomność, dostają skurczów i drgawek. Czasami się moczą. Stopniowo napad ustępuje i odzyskują kontrolę nad swoim ciałem i funkcjami umysłu. Dzisiaj chorzy na padaczkę traktują ją jako „normalną", choć dość niewygodną przypadłość, której ataki wyglądają niepokojąco. Starożytnym Grekom wydawały się tak dramatyczne i tajemnicze, że ich przyczyn upatrywali w boskim działaniu, a padaczkę nazwali „świętą chorobą".

Autor traktatu myślał jednak inaczej. W słynnym pierwszym zdaniu stwierdził jednoznacznie: „Nie wierzę, że «święta choroba» jest bardziej boska lub święta niż jakakolwiek inna choroba, lecz wręcz przeciwnie – ma specyficzną charakterystykę i określoną przyczynę. Mimo wszystko, ponieważ jest całkiem odmienna od innych chorób, była traktowana jako boska wizyta przez tych, którzy, będąc jedynie ludźmi, patrzyli na nią z ignorancją i zaskoczeniem". Według autora przyczyną epilepsji było zablokowanie flegmy w mózgu. Jak w przypadku większości teorii w nauce i me-

dycynie, zastąpiła ją lepsza hipoteza. Jednak zdecydowane stwierdzenie, że nie można uznać przyczyny choroby za nadprzyrodzoną tylko dlatego, że jest nietypowa, tajemnicza lub trudna do wyjaśnienia, stało się zasadą przewodnią nauki w późniejszych wiekach. Możemy czegoś w danej chwili nie rozumieć, ale dzięki cierpliwości i ciężkiej pracy znajdziemy wytłumaczenie. Ten argument jest jedną z najważniejszych, nieprzemijających prawd, przekazanych nam przez autorów *Corpus Hippocraticum*.

Druga zasada Hipokratesa mówi, że zarówno zdrowie, jak i choroba zależą od **humorów** w naszym ciele. (Wyrażenie, że ktoś jest w dobrym lub złym humorze, oznacza, że ma dobry lub zły nastrój). Ta teoria została najlepiej wyjaśniona w traktacie *O naturze człowieka*, napisanym być może przez zięcia Hipokratesa. Kilka innych dzieł korpusu wspomina o dwóch humorach – flegmie i żółci – jako o przyczynach chorób. W traktacie *O naturze człowieka* zostały wymienione dwa kolejne humory: krew i czarna żółć. Autor twierdzi, że te cztery płyny ustrojowe mają zasadniczy wpływ na zdrowie, a gdy dojdzie do zaburzenia ich proporcji (któregoś jest za dużo lub za mało), człowiek choruje. Prawdopodobnie każdy z nas widział swoje płyny ustrojowe podczas choroby. Gdy mamy gorączkę, pocimy się. Kiedy się przeziębimy lub złapiemy infekcję płuc, cieknie nam z nosa i odkrztuszamy flegmę. Jeśli boli nas brzuch, wymiotujemy, a przy biegunce wydalamy płyny. Zadrapanie lub skaleczenie powoduje krwawienie skóry. Mniej powszechna dzisiaj jest żółtaczka, choroba, w której skóra nabiera żółtawego zabarwienia. Towarzyszy ono także wielu różnym schorzeniom, które wpływają na organy wydzielające płyny ustrojowe. Taką przypadłością była powszechna w starożytnej Grecji malaria.

Autor traktatu wiązał każdy z tych humorów z jednym z organów: krew z sercem, żółć z wątrobą, czarną żółć ze śledzioną, a flegmę z mózgiem. Uważał, że epilepsję wywoływało zablokowanie flegmy w mózgu. Inne choroby – nie tylko takie, jak przeziębienie czy biegunka, w których następują wyraźne zmiany płynów ustrojowych – też były związane ze zmianami humorów. Każdy z humorów miał specyficzne właściwości: krew była gorąca i wilgotna, flegma – zimna i wilgotna, żółć – gorąca i sucha, a czarna żółć – zimna i sucha. Takie cechy można zaobserwować u chorych: kiedy krwawa rana jest zaogniona, robi się gorąca, a jeśli się przeziębimy, odczuwamy zimno i dreszcze. (Galen, który około 600 lat później rozwinął teorię Hipokratesa, przypisał te same cechy gorąca, zimna, wilgoci i suchości także pokarmom i lekom, które zażywamy).

Za najlepsze dla pacjenta uznawano leczenie polegające na przywróceniu równowagi humorów. A to oznaczało, że w praktyce medycyna hipokratesowa była bardziej skomplikowana od wypełnienia prostych instrukcji przywracania naturalnego stanu wszystkim humorom. U każdego pacjenta zapewniająca zdrowie równowaga humorów wyglądała nieco inaczej, więc lekarz musiał dowiedzieć się o chorym wszystkiego: gdzie mieszka, co jadł i jak zarabia na życie. Tylko w ten sposób mógł określić, co czeka pacjenta, czyli przedstawić mu rokowania. Gdy zachorujemy, przede wszystkim chcemy wiedzieć, czego mamy się spodziewać i co mamy zrobić, aby nasz stan się polepszył. Lekarze ze szkoły Hipokratesa przykładali wielką wagę do przewidywania, co się stanie z chorym. Prawidłowa ocena poprawiała ich reputację i sprawiała, że mieli więcej pacjentów.

Medycyna, której nauczał Hipokrates, a którą później jego uczniowie przekazywali dalej (nierzadko swoim synom lub zięciom), opierała się na uważnej obserwacji objawów

i przebiegu chorób. Lekarze zapisywali swoje spostrzeżenia, często w formie krótkich podsumowań, zwanych aforyzmami. Były one jednym z dzieł korpusu, do których najczęściej odwoływali się późniejsi lekarze.

Trzecia ważna zasada Hipokratesa na temat zdrowia i choroby została podsumowana w łacińskiej sentencji *vis medicatrix nature*, co oznacza „uzdrawiająca moc natury". Hipokrates i jego spadkobiercy interpretowali ruchy humorów w chorym ciele jako oznaki prób samouzdrowienia się organizmu. Zatem w poceniu się, odkasływaniu flegmy, wymiotach i gromadzeniu się ropy we wrzodach widzieli wydalanie przez ciało – albo „gotowanie" (często używali metafor kuchennych) – humorów. Organizm pozbywał się w ten sposób nadmiaru humorów albo oczyszczał się z tych złych, zmienionych przez chorobę. Zadaniem lekarza było pomóc w tym naturalnym procesie zdrowienia. Jego rola polegała na służeniu naturze, a nie na tym, by nad nią zapanować. Lekarz musiał nauczyć się, na czym polega proces choroby, uważnie go obserwując. W znacznie późniejszych czasach pewien medyk potwierdził teorię samoistnie ustępującej choroby. Wszyscy wiemy, że wielu chorych zdrowieje bez pomocy lekarza. Czasami lekarze żartują między sobą, że leczona choroba trwa tydzień, a nieleczona – siedem dni. Hipokrates zgodziłby się z nimi.

Oprócz licznych prac o medycynie i chirurgii, higienie i epidemiach Hipokrates zostawił nam tekst krótkiej przysięgi, która do dziś jest inspiracją dla lekarzy. Jej część dotyczy relacji między młodym studentem a jego nauczycielem oraz między lekarzami. Przede wszystkim jednak przysięga określa właściwe zachowania lekarza wobec pacjentów. Lekarz nie powinien wykorzystywać swoich pacjentów, rozpowiadać poufnych informacji, które mógł usłyszeć od chorego, ani przepisywać mu trucizny. Wszystkie te zagad-

nienia etyczne pozostały aktualne do dziś, a szczególnie jedno stwierdzenie wydaje się ponadczasowe: *Będę stosował zabiegi lecznicze wedle mych możliwości i rozeznania ku pożytkowi chorych, broniąc ich od uszczerbku i krzywdy*. Lekarzom wciąż powinna przyświecać zasada: „Przede wszystkim nie szkodzić”.

ROZDZIAŁ 5

Mistrz tych, którzy wiedzą: Arystoteles

„Wszyscy ludzie z natury pragną wiedzy”, powiedział Arystoteles. Zapewne znasz kogoś takiego, kto zawsze gotów jest nauczyć się czegoś nowego. Być może masz w swoim otoczeniu też mądrali pozbawionych ciekawości świata, która dla Arystotelesa zawsze miała duże znaczenie. Ten grecki filozof żywił nadzieję, że ludzie będą dążyć do poszerzania wiedzy o sobie samych i otaczającym ich świecie. Niestety, wiemy, że nie zawsze tak się dzieje.

Arystoteles poświęcił całe życie uczeniu się i nauczaniu. Urodził się w 384 roku p.n.e. w Stagirze w Tracji (Półwysep Chalcydycki w Grecji). Był synem lekarza, ale mniej więcej w wieku dziesięciu lat został osierocony. Wychowywał go i uczył niejaki Proksenos. Mając siedemnaście lat, Arystoteles udał się do Aten, aby studiować w słynnej Akademii Platońskiej. Został tam przez dwadzieścia lat. Mimo że miał całkiem inne podejście do przyrody niż Platon, lubił swoje-

go nauczyciela i po jego śmierci w 347 roku p.n.e. napisał dzieło o jego dorobku. Niektórzy twierdzą, że historia zachodniej filozofii to seria przypisów do Platona, co oznacza, że poruszył on wiele ważnych dla filozofów kwestii. Zastanawiał się m.in. nad tym, jaka jest natura piękna. Co jest prawdą? Czym jest wiedza? Jak być dobrym? Jak najlepiej zorganizować społeczeństwo? Kto ustala zasady, według których żyjemy? Co nasze doświadczenia w świecie mówią nam o prawdziwej naturze rzeczy?

Arystotelesa również intrygowało wiele z tych filozoficznych pytań, ale odpowiadał na nie w sposób, który moglibyśmy nazwać naukowym. Podobnie jak Platon był filozofem, ale filozofem przyrody. Dziś określono by go mianem naukowca. Zajmował się głównie jedną gałęzią filozofii – logiką, czyli tym, jak myśleć bardziej ściśle i jasno. Zawsze interesował się otaczającym go światem na Ziemi i na niebie oraz naturalnymi zmianami.

Większość pism Arystotelesa zaginęła, na szczęście jednak zachowała się część jego notatek z wykładów. Po śmierci Platona Arystoteles opuścił Ateny, zapewne dlatego że jako cudzoziemiec nie czuł się tam bezpiecznie. Kilka lat spędził w Assos (obecnie Turcja), gdzie założył szkołę, poślubił córkę miejscowego władcy, a po jej śmierci związał się z niewolnicą, z którą miał syna Nikomachusa. To właśnie tam Arystoteles rozpoczął badania biologiczne, które kontynuował na wyspie Lesbos. W 343 roku p.n.e. podjął się bardzo ważnej pracy – został nauczycielem Aleksandra Wielkiego w Macedonii (dziś jest to państwo leżące na północ od Grecji). Miał nadzieję, że wychowa go na władcę wrażliwego na filozofię. Niestety, to mu się nie udało. Jednak Aleksander podbił większość ówczesnego świata, w tym Ateny, dzięki czemu Arystoteles ponownie mógł w nich bezpiecznie zamieszkać. Nie wrócił jednak do Akademii Platońskiej, lecz

założył nową szkołę pod miastem. Znajdowała się ona przy promenadzie (po grecku *peripatos*), więc uczniów Arystotelesa nazwano perypatetykami, czyli nieustannie się przechadzającymi. Nazwa jest o tyle stosowna, że Arystoteles często prowadził wykłady i dysputy, chodząc z miejsca na miejsce. Po śmierci Aleksandra Wielkiego filozof stracił poparcie w Atenach, więc przeniósł się (po raz ostatni) do Chalkidy, gdzie wkrótce potem zmarł.

Arystoteles byłby zaskoczony tym, że nazywamy go uczonym. Uważał się za filozofa w dosłownym znaczeniu tego słowa, czyli miłośnika wiedzy. Jednak przez większość życia starał się zrozumieć otaczający go świat, stosując sposoby, które określilibyśmy jako naukowe. Jego wizja ziemi, żyjących na niej stworzeń i nieba nad nimi wywierała wpływ na rozumienie świata przez ponad piętnaście wieków. Wraz z Galenem górował nad pozostałymi starożytnymi myślicielami. Oczywiście wykorzystał dokonania swoich poprzedników, ale nie był filozofem nieruszającym się z fotela. Badał świat materialny, gdyż chciał go zrozumieć.

Jego zainteresowania i dorobek można podzielić na trzy dziedziny: świat żywy (rośliny, zwierzęta i ludzie), natura zmian, czyli ruch (większość przemyśleń związanych z tym tematem zawarł w piśmie zatytułowanym *Fizyka*), oraz struktura nieba, czyli zależności między Ziemią a Słońcem, Księżycem, gwiazdami i innymi ciałami niebieskimi.

Arystoteles poświęcił dużo czasu na badania. Zastanawiał się, jak są zbudowane i jak funkcjonują rośliny i zwierzęta. Chciał wiedzieć, jak przebiega ich rozwój przed narodzinami, jak rośliny kiełkują, jak wykluwają się ptaki i jak rosną wszystkie organizmy żywe. Nie dysponował mikroskopem, ale niewątpliwie miał dobry wzrok. Doskonale opisał rozwój kurcząt w jajach. Gdy kura złożyła kilka jaj, codziennie rozbijał jedno. Pierwszym znakiem życia, który zobaczył, była

odrobina krwi pulsującej w miejscu, w którym miało się rozwinąć ptasie serce. Na tej podstawie doszedł do wniosku, że serce jest najważniejszym organem zwierząt. Był też przekonany, że jest ono ośrodkiem emocji i tego, co nazwalibyśmy życiem umysłowym. Platon (i Hipokrates) prawidłowo umiejscowił funkcje psychologiczne w mózgu. Mimo wszystko, gdy się przestraszymy, zdenerwujemy lub zakochamy, serce bije nam szybciej, więc teoria Arystotelesa nie była zupełnie bezpodstawna. Funkcje (inaczej zdolności) wyższych zwierząt, takich jak istoty ludzkie, przypisywał aktywności duszy. U ludzi wyróżnił sześć podstawowych funkcji: odżywianie, wzrost, rozmnażanie, zmysły, ruch i rozum.

Każda żywa istota przejawia przynajmniej część tych zdolności. Na przykład rośliny wzrastają i rozmnażają się. Owady, takie jak mrówki, mogą również poruszać się i odczuwać. Większe i inteligentniejsze zwierzęta mają więcej zdolności, ale Arystoteles wierzył, że tylko ludzie mogą myśleć, to znaczy analizować i decydować o podjęciu określonych działań. Toteż właśnie człowiek znajdował się na szczycie arystotelesowskiej *scala naturae* („skali natury” albo „łańcucha istot”). Był to rodzaj drabiny, na której można ustawić wszystkie istoty żywe, zaczynając na dole od najprostszych roślin i umieszczając coraz wyżej coraz bardziej złożone organizmy. Koncepcję tę zapożyczyli później różni przyrodnicy, czyli badacze świata przyrody, zwłaszcza flory i fauny. Powrócimy do tego tematu w kolejnych rozdziałach.

Arystoteles dość dobrze orientował się, do czego służą poszczególne części roślin i zwierząt, na przykład liście, skrzydła, żołądek czy nerki. Założył, że budowa każdego z tych organów została zaprojektowana do wykonywania określonej funkcji. Skrzydła były przeznaczone do latania, żołądek do trawienia pokarmów, a nerki do przetwarzania moczu.

Ten rodzaj rozumowania nazywamy teleologicznym (z greckiego *telos* – ‘cel’). Skupia się ono na tym, jakie są albo do czego służą rzeczy. Pomyśl o szklance albo parze butów. Mają właściwy sobie kształt, ponieważ osoba, która je zrobiła, miała na względzie cel, któremu mają służyć – mieścić płyny do picia oraz chronić stopy podczas chodzenia. Z rozumowaniem teleologicznym zetkniemy się jeszcze w dalszej części tej książki. Pomoże ono nie tylko w wyjaśnieniu, dlaczego rośliny i zwierzęta są zbudowane tak, a nie inaczej, ale także w szerszym kontekście w zrozumieniu wielu zjawisk w świecie fizycznym.

Rośliny kiełkują, a zwierzęta się rodzą, po czym jedne i drugie rosną, a w końcu umierają. Pory roku regularnie się powtarzają. Jeśli coś upuścimy, spada na ziemię. Arystoteles chciał wyjaśnić tego typu zjawiska. Ważne dla niego były dwa pojęcia: **potencja** (możność) i **akt**. Nauczyciele bądź rodzice mogą ci powiedzieć, że masz potencjał, co zwykle oznacza, że dostajesz najlepsze możliwe oceny na testach albo szybko biegasz. Tego rodzaju potencjał jest elementem koncepcji Arystotelesa, ale mędrzec widział też w rzeczach inny rodzaj potencji. Według niego stos cegieł ma możność stać się domem, a bryła kamienia – posągiem. Budowanie i rzeźbienie przekształcają te nieożywione obiekty ze stanu potencji w gotowe rzeczy, czyli akty. Akt to finalna postać potencji, w której rzeczy obdarzone możnością odnajdują swój **stan naturalny**. Arystoteles uważał, że gdy przedmiot spada, na przykład jabłko z drzewa, to szuka swojego stanu naturalnego, którym jest spoczynek na ziemi. Jabłko nie dostanie nagle skrzydeł i nie odleci, ponieważ ono, tak jak i inne przedmioty w naszym świecie, szuka ziemi. Latające jabłko byłoby czymś nienaturalnym. Leżące na ziemi jabłko nadal może się zmieniać – zgnije, jeśli nikt go nie podniesie i nie zje, bo to również jest częścią cyklu

wzrastania i rozkładu jabłka. Jednak spadając, jabłko osiągnęło pewnego rodzaju naturalność. Nawet ptaki wracają na ziemię po szybowaniu w powietrzu.

Skoro „naturalnym” miejscem spoczynku przedmiotów jest twarda ziemia, to co z Księżycem, Słońcem, planetami i gwiazdami? Mogą się znajdować gdzieś daleko, tak jak jabłko wiszące na gałęzi albo kamień na skalnej półce, ale nigdy nie zderzą się z Ziemią. Na szczęście. Arystoteles podał bardzo proste wyjaśnienie tego faktu. Zmiany w świecie podksiężycowym zawsze zachodzą w kierunku od Księżyca ku Ziemi, ponieważ świat zbudowany jest z czterech żywiołów: ognia, powietrza, ziemi i wody (i ich właściwości: gorącego i suchego powietrza, gorącego i wilgotnego powietrza, zimnej i suchej ziemi oraz zimnej i wilgotnej wody). Natomiast świat nadksiężycowy jest zbudowany z piątego, niezmiennego pierwiastka – eteru, zwanego też *quintessence*, czyli **piątą esencją**. Ciężkie ciała zawsze poruszają się po idealnych okręgach. Wszechświat Arystotelesa wypełniał stałą przestrzeń, ale czas był zmienny. Słońce, Księżyc i gwiazdy przez całą wieczność krążyły wokół Ziemi, unoszącej się w centrum kosmosu. Zachodzi tu paradoks, gdyż Ziemia była również jedynym elementem wszechświata, w którym mogły zachodzić zmiany i rozkład.

A co powodowało ruch ciał niebieskich wokół Ziemi? Arystoteles szczególnie interesował się przyczyną. Wysunął całą teorię przyczyn, dzieląc je na cztery kategorie. Wyróżnił przyczyny materialne, formalne, sprawcze i celowe. Sądził, że ludzką działalność, a także zjawiska zachodzące na świecie można pogrupować, biorąc pod uwagę rodzaj przyczyny, i w ten sposób je zrozumieć. Pomyśl o rzeźbieniu posągu z bryły kamienia. Kamień jest materią, z której powstanie posąg, czyli przyczyną **materialną**. Tworzący posąg rzeźbiarz postępuje w określony, **formalny** sposób, aby

nadać mu kształt. Przyczyną **sprawczą** jest sama czynność ciosania kamienia, a przyczyną **celową** – pomysł, który zrodził się w umyśle artysty, na przykład figura psa lub konia, i który zapoczątkował całe działanie.

Nauka zawsze zajmowała się przyczynami. Badacze chcieli wiedzieć, co się stanie i dlaczego. Co powoduje, że komórka zaczyna się bez końca dzielić, doprowadzając do powstania nowotworu? Dlaczego jesienią liście brązowieją, żółkną i czerwienieją, a przez całe lato były zielone? Dlaczego ciasto wyrasta, gdy doda się do niego drożdże? Na te i wiele podobnych pytań można odpowiedzieć w kategoriach różnych przyczyn. Czasami odpowiedź jest dość prosta, kiedy indziej – bardzo złożona. Naukowcy zajmują się głównie tym, co Arystoteles nazwał przyczynami sprawczymi, ale istotne są też przyczyny materialne i formalne. Przyczyny celowe to już całkiem inna kwestia. We współczesnych eksperymentach naukowych badacze zajmują się przede wszystkim wyjaśnieniem procesów, zamiast szukaniem przyczyn celowych, które raczej są przedmiotem zainteresowania religii bądź filozofii.

Jednak w IV wieku p.n.e. Arystoteles wierzył, że przyczyny celowe są ważnym elementem obrazu rzeczywistości. Patrząc na wszechświat jako całość, stwierdził, że musiała istnieć jakaś przyczyna celowa, która zapoczątkowała cały ruch. Nazwał ją **nieruchomym poruszycielem**. Później wiele religii (między innymi chrześcijaństwo, judaizm i islam) identyfikowały nieruchomego poruszyciela ze swoim bogiem. Dlatego też Arystoteles przez wiele stuleci był ceniony jako wybitny myśliciel. Stworzył światopogląd, który dominował w nauce przez blisko dwa tysiące lat.

ROZDZIAŁ 6

Cesarski medyk: Galen

Galen (żył 130–200) był bardzo mądry i śmiało się do tego przyznawał. Nieustannie coś notował, opisując swoje dokonania i dzieląc się różnymi opiniami. Zachowało się znacznie więcej jego dzieł niż jakiegokolwiek innego autora z dawnych czasów, co świadczy o tym, że ludzie bardzo cenili jego prace. Do przeczytania jest dwadzieścia opasłych tomów (choć Galen napisał ich dużo więcej). Dzięki temu mamy o nim większą wiedzę niż o wielu innych starożytnych myślicielach. Nie szkodzi, że uczony uwielbiał też pisać o sobie samym.

Urodził się w Pergamonie, obecnie należącym do Turcji, a wówczas będącym na peryferiach Cesarstwa Rzymskiego. Jego ojciec, zamożny architekt, kochał swego utalentowanego syna i zapewnił mu solidne wykształcenie (po grecku), w ramach którego Galen poznał filozofię i matematykę. Kto wie, co mogłoby się stać, gdyby ojciec Galena nie miał proroczego snu, z którego wynikało, że jego syn powinien zostać lekarzem? Galen zmienił kierunek studiów na medycy-

nę. Po śmierci ojca, który zostawił mu pokaźny spadek, przez kilka lat podróżował i uczył się, spędzając czas w słynnej Bibliotece Aleksandryjskiej w Egipcie.

Po powrocie do Pergamonu Galen został lekarzem gladiatorów, czyli ludzi walczących na arenie między sobą, z lwami lub innymi bestiami ku uciesze majętnych obywateli. Opieka lekarska nad gladiatorami była niezwykle istotnym zajęciem, ponieważ poważnie rannych trzeba było solidnie opatrzyć między kolejnymi rundami, aby mogli dalej walczyć. Sam Galen twierdził, że doskonale sobie z tym radził. Nabrał ogromnego doświadczenia w chirurgicznym leczeniu ran. Cieszył się też znakomitą reputacją wśród bogaczy i około 160 roku przeniósł się do Rzymu, stolicy cesarstwa. Zaczął pisać o anatomii (nauka zajmująca się badaniem budowy organizmów) i fizjologii (nauka o czynnościach życiowych i funkcjach organizmów). Wyruszył na kampanię wojenną wraz z cesarzem Markiem Aureliuszem, który jest autorem słynnych *Rozmyślań*. Podczas długiej kampanii obaj toczyli dyskusje filozoficzne. Marek Aureliusz cenił Galena, a ten korzystał z cesarskiego wsparcia. Medyk przyznawał, że stale leczył ważnych pacjentów.

Dla Galena autorytetem medycznym był nieżyjący już od ponad pięciuset lat Hipokrates. Galen widział w sobie kontynuatora uzupełniającego i poszerzającego spuściznę swojego mistrza. I pod wieloma względami właśnie nim był. Galen napisał komentarze do licznych dzieł z *Corpus Hippocraticum* i założył, że prace, które są najbliższe jego poglądom, napisał sam Hipokrates. Jego wyjaśnienia do traktatów Hipokratesa wciąż są przydatne, między innymi dlatego, że Galen był biegłym lingwistą i dobrze wychwytywał zmieniające się znaczenia słów. Co ważniejsze, doktrynę Hipokratesa o humorach wyraził w formie, z której korzystano

jeszcze przez ponad tysiąc lat! Wyobraź sobie bycie tak wpływowym człowiekiem!

Galen oparł swoją praktykę lekarską na koncepcji równowagi i nierównowagi humorów. Podobnie jak Hipokrates wierzył w istnienie czterech humorów – krwi, żółci, czarnej żółci i flegmy – które w specyficzny sposób były gorące lub zimne oraz wilgotne lub suche. Aby pokonać chorobę, należało zastosować „przeciwny" jej środek, ale o tej samej intensywności. Zatem chorobę gorącą i wilgotną trzeciego stopnia leczyło się środkiem zimnym i suchym trzeciego stopnia. Na przykład, jeśli pacjent miał katar i dreszcze, trzeba było mu podać osuszające i rozgrzewające leki oraz pokarmy. Przywrócenie równowagi humorów powodowało powrót organizmu do zdrowego, neutralnego stanu. Koncepcja była prosta i logiczna, lecz w praktyce leczenie okazywało się bardziej skomplikowane. Lekarze musieli uzyskać sporo informacji o swoich pacjentach i ostrożnie przepisywać im leki. Galen zawsze potrafił od razu wskazać, gdzie lekarze popełnili błąd (co działo się dosyć często), więc powszechnie było wiadomo, że jego diagnozy i terapie są lepsze. Był wnikliwym medykiem, przywiązującym dużą wagę zarówno do stanu fizycznego, jak i psychicznego zdrowych i chorych. Któregoś razu zdiagnozował „chorobę z miłości", gdyż badana młoda kobieta robiła się słaba i nerwowa zawsze wtedy, gdy w mieście występował pewien przystojny tancerz.

Galen wprowadził zwyczaj badania pulsu pacjenta, co lekarze robią do dziś. Napisał traktat o tym, jak tętno – wolne albo szybkie, silne albo słabe, regularne albo nieregularne – przydaje się w diagnozowaniu chorób, choć nie miał pojęcia o krążeniu krwi.

Galen, bardziej niż Hipokrates, interesował się anatomią. Kiedy tylko mógł, robił sekcje martwych zwierząt i badał

ludzkie szkielety. W starożytnych społeczeństwach krojenie i badanie ludzkich ciał było źle widziane, więc Galen nie mógł tego robić, choć przypuszczał, że niektórym wcześniejszym lekarzom pozwolono zbadać ciała skazanych kryminalistów, gdy jeszcze żyli. Galen uczył się ludzkiej anatomii, badając zwierzęta takie jak świnie i małpy. Wiedzę uzupełniał czasem przypadkowo – gdy znalazł rozkładające się zwłoki lub trafił na poważną ranę, która uwidaczniała strukturę skóry, mięśni i kości. Naukowcy wciąż wykorzystują zwierzęta do badań, ale muszą zachować ostrożność i ujawniać, skąd czerpią informacje. Galen często zapominał o tym napisać, co stawało się w gruncie rzeczy mylące.

Dla Galena anatomia była niezwykle istotną dziedziną wiedzy, a także kluczem do zrozumienia, do czego służą poszczególne organy. Jeden z najważniejszych traktatów zatytułował *O zastosowaniu części ciała ludzkiego*. Opisał w nim budowę „części”, czyli organów, i rolę, jaką odgrywają w funkcjonowaniu organizmu człowieka. Założył – jak zapewne robi to większość z nas – że każda część do czegoś służy, gdyż inaczej by jej nie było. (Wątpliwe jednak, czy kiedykolwiek widział na przykład wyrostek robaczkowy. Przypuszczalnie dawno temu ten niewielki fragment układu pokarmowego pomagał trawić rośliny, ale już nie pełni tej funkcji).

Za wszystkie funkcje życiowe odpowiedzialna była substancja, którą Grecy nazwali *pneumą*. Słowo **pneuma** nie daje się łatwo przetłumaczyć – oznacza „tchnienie”, ale też „ducha”. Wiele współczesnych terminów medycznych zawiera człon *pneumo-*, wskazujący na związek z płucami. Według Galena ciało zawiera trzy rodzaje pneumy, a ustalenie, jak każdy z nich działa, było niezbędne do zrozumienia, jak funkcjonuje ludzki organizm. Najbardziej podstawowy rodzaj pneumy był związany z wątrobą i odżywianiem się.

Galen sądził, że narząd ten jest w stanie pobierać z żołądka substancje, które zostały zjedzone i strawione, następnie przerabiać je na krew i nasączać ją **naturalnym tchnieniem**. Ta krew miała płynąć żyłami z wątroby przez całe ciało, aby odżywiać mięśnie i inne organy.

Część tej krwi przepływała dużą żyłą, zwaną *vena cava*, z wątroby do serca, gdzie była wzbogacana **tchnieniem życiowym**. W tym procesie uczestniczyły serce i płuca, gdyż część krwi przechodziła przez tętnicę płucną (wychodzącą z prawej strony serca) do płuc. Tam krew odżywiała płuca i mieszała się z wdychanym powietrzem. Równocześnie część krwi przepływała z prawej połowy serca do lewej przez jego środkową część zwaną przegrodą. Ta krew była jasnoczerwona, ponieważ – jak przypuszczał Galen – zawierała życiowe tchnienie. (Zauważył, że krew w tętnicach ma inny kolor niż w żyłach). Z lewej komory serca krew płynęła szeroką aortą, aby ogrzać ciało. Mimo że Galen doceniał znaczenie krwi dla funkcjonowania organizmu, nie miał pojęcia o krążeniu krwi, które odkrył William Harvey dopiero 1500 lat później.

W modelu Galena część krwi płynęła także z serca do mózgu, gdzie mieszała się z trzecim rodzajem pneumy – **zwierzęcym tchnieniem**. Był to najbardziej subtelny rodzaj pneumy, dzięki której mózg pełnił specjalne funkcje. Krew z trzecią pneumą przepływająca przez nerwy umożliwiała poruszanie mięśniami i odbieranie świata zewnętrznego poprzez zmysły.

Podział na trzy pneumy związane z ważnymi organami – wątrobą, sercem i mózgiem – przyjął się na ponad tysiąc lat. Warto pamiętać, że Galen stosował go głównie po to, aby wyjaśnić, jak działa zdrowy organizm. Gdy opiekował się chorymi pacjentami, wciąż opierał się na opracowanym przez Hipokratesa systemie humorów.

Galen pisał też dużo o innych aspektach medycyny, takich jak leki i ich właściwości, schorzenia poszczególnych organów (na przykład płuc), higiena, zachowanie zdrowia oraz związki między umysłem a ciałem. Miał bardzo głębokie przemyślenia. Wierzył, że lekarz powinien być zarówno filozofem, jak i badaczem, czyli myślicielem i eksperymentatorem. Twierdził, że medycyna to przede wszystkim nauka oparta na logicznym rozumowaniu, i przywiązywał dużą wagę do stosowania najlepszych metod zdobywania solidnej, uczciwej wiedzy. W późniejszych czasach lekarze, również uważający się za ludzi uczonych, bardzo cenili połączenie praktycznych rad Galena (popartych jego bogatym doświadczeniem) z otwartym myśleniem. W całej historii żaden zachodni lekarz nie odcisnął tak trwałego piętna na medycynie jak Galen.

Na ten przemożny wpływ Galena złożyło się wiele czynników. Po pierwsze, medyk miał bardzo dobrą opinię o Arystotelesie, więc często wymieniano ich obu razem. Tak jak Arystoteles był wybitnym myślicielem i energicznym badaczem świata. Obaj wierzyli, że świat został zaprojektowany i wychwalali jego projektanta. Galen nie był chrześcijaninem, ale wierzył w jednego Boga, więc wcześni chrześcijańscy interpretatorzy jego dzieł z łatwością zaliczyli je do nurtu chrześcijańskiego. Jego pewność siebie spowodowała, że miał odpowiedź na wszystko. Jak większość ludzi piszących wiele książek w długim okresie nie zawsze zachowywał spójność poglądów, ale zawsze był kategoryczny w wyrażaniu opinii. Potomni często określali go mianem „boskiego Galena”, z czego niewątpliwie byłby dumny.

ROZDZIAŁ 7

Nauka w islamie

Galen nie dożył schyłku Cesarstwa Rzymskiego, które w IV wieku rozpadło się na część wschodnią i zachodnią. W 330 roku nowy cesarz rzymski Konstantyn I Wielki (282–337) przeniósł swoją siedzibę do Konstantynopola (obecnie Stambuł w Turcji), aby być bliżej wschodniej części imperium, czyli terenów obecnie nazywanych Bliskim Wschodem. Greckie i łacińskie manuskrypty, głoszące dawną wiedzę i mądrość, trafiły na wschód, a wraz z nimi zaczęli przenosić się także zdolni je studiować uczeni.

Na Bliskim Wschodzie narodziła się wtedy nowa religia – islam. Jej wyznawcy słuchali nauk wielkiego proroka Mahometa (570–632). Nowa wiara opanowała również Afrykę Północną, a nawet Hiszpanię i Azję Wschodnią, ale dwa wieki po śmierci Mahometa muzułmanie żyli na obszarze ograniczonym do Bagdadu i jego okolic. Wszyscy muzułmańscy uczeni studiowali Koran – najważniejszy tekst islamu. Wielu z nich zainteresowało się jednak manuskryptami przewiezionymi na wschód po ataku na Rzym w 455 roku.

W Bagdadzie powstał Dom Mądrości, czyli arabska akademia, w której zachęcano ambitnych młodych ludzi do tłumaczenia i studiowania tych rękopisów.

Wiele starych manuskryptów istniało tylko w oryginalnej wersji greckiej lub łacińskiej, inne przełożono już na języki Bliskiego Wschodu. Na szczęście dzieła Arystotelesa, Euklidesa, Galena i innych myślicieli starożytnej Grecji zostały przetłumaczone, gdyż część oryginałów zaginęła i nie przetrwała do naszych czasów. Bez arabskich uczonych nie poznalibyśmy nawet połowy prac antycznych uczonych. To ich przekłady ukształtowały podstawy europejskiej nauki i filozofii po XII wieku.

Arabska nauka, podobnie jak ziemie muzułmańskie, stała się pomostem między Wschodem a Zachodem. W świecie islamskim Arystoteles i Galen budzili taki sam podziw jak w Europie. Dzieła Arystotelesa zostały włączone w filozofię islamu, a Galena uznano za mistrza teorii i praktyki medycyny. Tymczasem na Zachód przeniknęły idee z Indii i Chin. Chiński papier znacznie ułatwił tworzenie manuskryptów, choć nadal trzeba było przepisywać je ręcznie, a kopiści często popełniali błędy. Wprowadzono cyfry od 1 do 9, koncepcję zera i system pozycyjny – wszystkie wymyślone przez indyjskich matematyków. Europejczycy mogli wykonywać obliczenia na cyfrach rzymskich, takich jak I, II, III itd., ale było to trudne. Znacznie łatwiej jest obliczyć 4 x 12 niż IV x XII. Gdy Europejczycy przetłumaczyli pisma arabskie na łacinę, nazwali te cyfry arabskimi, choć tak naprawdę były one indyjsko-arabskie. Takie precyzyjne określenie byłoby jednak zbyt długie i niepraktyczne. Słowo „algebra” pochodzi od arabskiego terminu *al-dżabr*, którego w IX wieku użył arabski matematyk w tytule jego szeroko tłumaczonej książki. Więcej o algebrze powiemy w rozdziale 14.

Muzułmańscy uczeni dokonali znaczących odkryć i obserwacji. Jeśli kiedykolwiek udało ci się wejść na górski szczyt albo pojechać w miejsce położone wysoko nad poziomem morza, zapewne wiesz, że trudniej tam oddychać, ponieważ powietrze jest rzadsze. A jak wysoko trzeba byłoby wejść, aby wcale nie dało się oddychać? Innymi słowy, jak wysoko sięga atmosfera, czyli otaczająca ziemski glob warstwa powietrza? W XI wieku Sa'd ibn Mu'adh wpadł na sprytny pomysł, jak to sprawdzić. Doszedł do wniosku, że o zmierzchu – w chwili, gdy Słońce chowa się za horyzont, ale niebo jest wciąż jeszcze jasne – promienie zachodzącego Słońca odbijają się w kroplach pary wodnej wysoko w atmosferze. (Wielu arabskich uczonych interesowało się takimi właściwościami światła). Obserwując, jak szybko Słońce znika z wieczornego nieba, ustalił, że o zmierzchu Słońce znajduje się 19° poniżej horyzontu. Na tej podstawie wyliczył, że atmosfera ma grubość 84 kilometrów. Niewiele się pomylił, bo – jak obecnie wiadomo – ma 100 kilometrów. Proste, ale imponujące.

Inni arabscy uczeni badali odbicia światła w lustrze i dziwny efekt przy przechodzeniu światła przez wodę. (Zanurz częściowo ołówek w szklance napełnionej do połowy wodą. Wygląda, jakby był złamany, prawda?) Większość greckich filozofów zakładała, że widzenie polega na tym, że światło wychodzi z oka, odbija się od obserwowanego obiektu i wraca do punktu wyjścia. Z kolei większość arabskich uczonych była wierna bardziej nowoczesnej koncepcji – sądziła, że do oka wpada światło odbite z widzianych przedmiotów, a mózg to interpretuje. Tym tłumaczono fakt, że widzimy w ciemności.

Na Bliskim Wschodzie wielu ludzi patrzyło w nocne niebo. Tamtejsi astronomowie spoglądali na gwiazdy, a opracowane przez nich mapy nocnego nieba były znacznie lepsze od

zachodnich. Sądzili też, że Ziemia znajduje się w centrum wszechświata, ale dwóch arabskich astronomów, Nasir ad-Din al-Tusi z Persji i Ibn al-Shatir z Syrii, sporządziło diagramy i obliczenia, które trzysta lat później wykorzystał polski astronom Mikołaj Kopernik.

Medycyna, bardziej niż jakakolwiek inna arabska nauka, miała ogromny wpływ na myślenie Europejczyków. Pisma Hipokratesa, Galena i innych greckich lekarzy zostały przetłumaczone na arabski i opatrzone komentarzami. W annałach dziejów zapisały się także imiona kilku arabskich medyków. Pers, znany na Zachodzie jako Rhazes (około 850–923), napisał ważne traktaty dotyczące medycyny i kilku innych dziedzin. Sporządził też dokładny opis przebiegu ospy prawdziwej, której wówczas bardzo się obawiano, ponieważ często kończyła się śmiercią, a w najlepszym przypadku zostawiała ślady na skórze tych, którzy ją przeszli. Rhazes odróżnił ospę od odry, na którą nadal zapadają dzieci i czasem dorośli. Odra, podobnie jak ospa, objawia się wysypką i gorączką. Na szczęście dziś ospy prawdziwej już nie ma. W jej całkowitym wyeliminowaniu pomogła międzynarodowa akcja szczepienia przeciw tej chorobie, przeprowadzona przez Światową Organizację Zdrowia. Ostatni przypadek ospy prawdziwej odnotowano w 1977 roku. Rhazes byłby zadowolony z takich postępów.

Spośród arabskich lekarzy to Awicenna (980–1037) wywarł największy wpływ na europejską medycynę. Jak wielu innych wybitnych uczonych muzułmańskich był wszechstronny. Zajmował się również filozofią, matematyką i fizyką. Rozwinął poglądy Arystotelesa o świetle i w wielu punktach poprawił stwierdzenia Galena. Jego *Kanon medycyny* był jedną z pierwszych arabskich książek przełożonych na łacinę i przez niemal czterysta lat służył jako podręcznik w europejskich akademiach medycznych. Nadal korzysta

się z niego w niektórych współczesnych państwach islamskich, choć niestety jest już nieaktualny.

Przez ponad trzy stulecia najważniejsze dzieła naukowe i filozoficzne powstawały w krajach arabskich. Gdy Europa była pogrążona w bezczynności, na Bliskim Wschodzie (i w islamskiej Hiszpanii) rozwijała się nauka. Najważniejszymi ośrodkami naukowymi były Bagdad, Damaszek, Kair i Kordoba (na Półwyspie Iberyjskim). Miały one jedną cechę wspólną – oświeconych władców, którzy doceniali znaczenie badań naukowych, a nawet wspierali je finansowo i tolerancyjnie traktowali uczonych różnych wyznań. Dlatego wkład w ówczesny rozwój nauki mieli nie tylko muzułmanie, ale też chrześcijanie i żydzi. Nie wszyscy muzułmańscy władcy popierali jednak zdobywanie wiedzy z różnych źródeł, niektórzy uważali, że Koran opisuje wszystko, co człowiek powinien wiedzieć. Te różnice postaw przetrwały do dziś. Nauka zawsze była silna w społeczeństwach otwartych na nowości, ponieważ poznawanie świata często prowadzi do zaskakujących odkryć.

ROZDZIAŁ 8

Wieki ciemne

Oczekujemy, że naukowcy będą dążyć do odkrywania nowych faktów, a nauka będzie nieustannie się rozwijać. Jaka jednak byłaby nauka, gdybyśmy uznali, że wszystko zostało już odkryte? Wówczas bycie wybitnym uczonym polegałoby jedynie na czytaniu o dokonaniach innych.

Po upadku Cesarstwa Zachodniorzymskiego w 476 roku Europę całkowicie zdominował ten wsteczny pogląd. Wówczas chrześcijaństwo stało się oficjalną religią państwową (pierwszym cesarzem, który ją przyjął, był Konstantyn I Wielki), a jedyną księgą, która się liczyła, była Biblia. Święty Augustyn (354–430), jeden z najbardziej wpływowych wczesnochrześcijańskich myślicieli, ujął to w następujący sposób: „Prawda kryje się w tym, co ujawnia Bóg, a nie w tym, czego po omacku domyśla się człowiek”. Nie było miejsca dla uczonych, którzy „po omacku szukali” wiedzy. Twierdzono, że starożytni odkryli już wszystko, czego warto było się dowiedzieć w dziedzinach nauki i medycyny. Poza tym znacznie ważniejsze było to, aby trafić do nieba i unik-

nąć piekła. Bycie uczonym oznaczało jedynie studiowanie pism Arystotelesa i Galena. Przez około pięćset lat, mniej więcej od VI do XI wieku, nawet to było trudne, ponieważ zachowało się niewiele greckich i łacińskich tekstów z okresu klasycznego. Poza tym niewiele osób umiało czytać.

Plemiona germańskie, które złupiły Rzym w 455 roku, przywiozły ze sobą kilka przydatnych wynalazków. Należały do nich spodnie noszone zamiast tóg (chociaż kobiety musiały na nie poczekać nieco dłużej). Wprowadzono nowe gatunki zbóż, takie jak jęczmień i żyto, oraz masło zamiast oliwy. W tych wiekach ciemnych pojawiły się też nowinki techniczne – nowe sposoby orania i uprawy ziemi. Budowa kościołów i katedr sprzyjała temu, aby rzemieślnicy i architekci eksperymentowali z nowymi stylami i szukali lepszych metod rozkładania ciężaru masywnych kamieni i belek drewna. Wznoszono więc coraz większe i okazalsze katedry, a widok niektórych z ówczesnych budowli do dziś zapiera dech w piersiach. Przypominają nam one, że w epoce zwanej wiekami ciemnymi było jednak nieco światła.

Wraz z nadejściem drugiego tysiąclecia ery chrześcijańskiej wzrosło tempo dokonywania odkryć. Święty Tomasz z Akwinu (około 1225–1274) był wybitnym średniowiecznym teologiem. Podziwiał Arystotelesa i połączył chrześcijańskie myślenie z arystotelesowską nauką i filozofią. Arystoteles wraz z Galenem, Ptolemeuszem i Euklidesem kształtowali średniowieczny światopogląd. Ich pisma trzeba było przetłumaczyć, zredagować i skomentować. Pierwotnie większość tych prac wykonywano w klasztorach. Później zadanie mnichów stopniowo przejmowały uniwersytety, które wówczas zaczęto zakładać.

Grecy mieli szkoły: Arystoteles studiował w Akademii swojego mistrza Platona, a później założył własną uczelnię. Dom Mądrości w Bagdadzie był miejscem przyciągającym

ludzi pragnących studiować. Nowe uniwersytety w Europie były jednak inne, a większość z nich istnieje do dziś. Wiele zostało ufundowanych przez Kościół. Papież wyraził zgodę na założenie kilku uniwersytetów w południowych Włoszech, a bogaci mecenasi i ambitne społeczności pomogli niektórym miastom uruchomić własne uczelnie. Jako pierwszy swe podwoje otworzył Uniwersytet Boloński (założony około 1180 roku). W ciągu następnego stulecia powstały uczelnie w Padwie, Montpellier, Paryżu, Kolonii, Oksfordzie i Cambridge. Nazwa „uniwersytet” pochodzi od łacińskiego słowa oznaczającego ‘całość’, gdyż ta instytucja miała przekazywać studentom pełnię ludzkiej wiedzy. Zwykle na uniwersytecie funkcjonowały cztery wydziały, czyli fakultety: teologia (tomiści uznali ją za królową nauk), prawo, medycyna i sztuka. Początkowo na fakultetach medycznych korzystano głównie z dorobku Galena i Awicenny. Studenci medycyny uczyli się również astrologii z powodu rozpowszechnionego przekonania o dobrym lub złym wpływie gwiazd na ludzi. Matematyki i astronomii – uznawanych przez nas za nauki ścisłe – uczono na wydziale sztuk. Liczne dzieła Arystotelesa studiowano na wszystkich fakultetach.

Wielu średniowiecznych „uczonych” było doktorami albo klerykami, a większość z nich pracowała na nowych uniwersytetach. Kończąc medycynę, studenci zdobywali stopień doktora albo bakałarza medycyny, które odróżniały internistów od chirurgów, aptekarzy (farmakologów) i lekarzy pozostałych specjalności, którzy uczyli się fachu w inny sposób. Uniwersyteckie wykształcenie wcale nie sprawiało, że lekarze bardziej interesowali się odkrywaniem nowych faktów – woleli polegać na Galenie, Awicennie i Hipokratesie. Jednak na początku XIV wieku wykładowcy anatomii zaczęli przeprowadzać sekcje zwłok, aby pokazać studentom organy wewnętrzne. Czasem autopsje wykonywano zmarłym

członkom rodziny królewskiej albo gdy okoliczności śmierci były niejasne i budziły podejrzenia (lub zachodziły oba przypadki jednocześnie). Nie musiało to jednak prowadzić do skuteczniejszego leczenia z chorób, zwłaszcza tych gwałtownie szerzących się w społeczeństwie.

Epidemia dżumy, zwanej czarną śmiercią, po raz pierwszy wybuchła w Europie w latach czterdziestych XIV wieku. Przypuszczalnie przedostała się na nasz kontynent szlakami handlowymi z Azji. W ciągu trzech lat zabiła około jednej trzeciej Europejczyków. Jakby tego było mało, wróciła dekadę później i z przygnębiającą regularnością nękała ludzi przez kolejne czterysta lat. W niektórych miejscach powstały specjalne szpitale dla dotkniętych tą chorobą (oprócz uniwersytetów epoce średniowiecza zawdzięczamy też szpitale), a także izby zdrowia. Epidemia skłoniła do stosowania kwarantanny wtedy, kiedy chorobę uważano za zakaźną. Słowo „kwarantanna” pochodzi od liczby 40 (weneckie *quaranta*) – chorych lub podejrzewanych o zachorowanie umieszczano na czterdzieści dni w izolacji. Jeśli w tym czasie wyzdrowieli lub nie mieli oznak choroby, wypuszczano ich. Dramaturg William Szekspir urodził się w Stratford-upon-Avon w 1564 roku, w którym Anglię dotknęła epidemia dżumy. Jego karierę kilkakrotnie przerywały nawroty czarnej śmierci, gdyż wymuszały zamknięcie teatrów. Merkucjo, bohater dramatu *Romeo i Julia*, przeklina obie walczące ze sobą rodziny, mówiąc: „Zaraza na obydwa wasze domy!”. Publika Szekspira doskonale wiedziała, o jaką zarazę chodzi. Większość lekarzy uważała, że dżuma była nową chorobą, a przynajmniej nieopisaną przez Galena. Medycy musieli więc radzić sobie bez jego wskazówek. Zalecali kuracje popularne wówczas przy leczeniu wszystkich innych chorób. Było to upuszczanie krwi i podawanie środków

wywołujących wymioty lub pocenie się. Galen nie wiedział zatem wszystkiego.

Arystoteles też nie. Jego koncepcje mówiące o tym, dlaczego coś porusza się w powietrzu, szeroko przedyskutowali Roger Bacon (około 1214–1292) na Uniwersytecie Oksfordzkim, Jean Buridan (około 1300–1358) na Uniwersytecie Paryskim i kilku innych uczonych. Rozwiązania wymagał tak zwany problem impetu. Weźmy na przykład łuk i strzałę. Strzała leci w powietrzu, ponieważ napięliśmy cięciwę łuku i gwałtownie ją puściliśmy, a ona nadała pęd strzale. Przyłożyliśmy siłę i nadaliśmy jej *momentum* (tę koncepcję omówimy nieco później). Bacon i Buridan nazwali to **impetem** i zdali sobie sprawę z tego, że Arystoteles nie podał prawidłowego wyjaśnienia faktu, że im mocniej naciągniemy cięciwę, tym dalej strzała doleci. Arystoteles powiedział, że jabłko spada na ziemię, bo tam jest jego „naturalne" miejsce spoczynku. Strzała też w końcu spadnie na ziemię, ale Arystoteles stwierdził, że porusza się ona tylko dlatego, że została do niej przyłożona siła. Skoro więc siła działała, gdy strzała wylatywała z łuku, dlaczego się wyczerpała?

To zagadnienie i jemu podobne doprowadziły niektórych uczonych do wniosku, że Arystoteles nie wszystko prawidłowo wyjaśnił. Mikołaj z Oresme (około 1320–1382), ksiądz pełniący posługę w Paryżu, Rouen i w innych francuskich miejscowościach, zastanawiał się nad dniem i nocą. Pomyślał, że być może to nie Słońce obiega Ziemię co dwadzieścia cztery godziny, tylko kula ziemska obraca się wokół własnej osi raz na dobę. Nie podważał dogmatu Arystotelesa o tym, że Ziemia znajduje się w centrum wszechświata ani że Słońce i planety krążą wokół Ziemi. Uznał, że być może był to bardzo powolny ruch (zrobienie pełnego okręgu musiałoby zająć Słońcu aż rok!), podczas którego Ziemia,

znajdująca się przecież w środku wszechświata, obracała się jak bąk.

Idee były nowe, a siedemset lat temu ludzie nie uważali, że nowatorskie pomysły są zawsze dobre. Podobały im się rozwiązania zgrabne i kompletne. Między innymi dlatego wielu uczonych pisało księgi, które teraz nazywamy **encyklopediami**, obejmujące wszystkie zsyntetyzowane dzieła Arystotelesa i innych starożytnych mistrzów. „Miejsce na wszystko i wszystko na swoim miejscu” mogłoby być mottem tamtej epoki. Jednak próby znalezienia tego miejsca dla wszystkiego doprowadziły do zrozumienia, że wciąż istnieją nierozwiązane problemy.

ROZDZIAŁ 9

Poszukiwanie kamienia filozoficznego

Wyobraź sobie, że możesz zamienić aluminiową puszkę coca-coli w złoto. Zrobisz to? Pewnie tak. Gdyby jednak każdy mógł tego dokonać, nie byłoby to już takie wspaniałe, ponieważ ten szlachetny metal stałby się powszechny, a jego wartość znacznie by spadła. Starożytny mit o królu Midasie, który zmieniał w złoto wszystko, czego dotknął, przypomina nam, że jego życzenie było wielce nierozważne. Nie mógł nawet zjeść śniadania, ponieważ chleb również stawał się złotem, gdy tylko wziął go do ręki!

Nie tylko król Midas uważał złoto za wyjątkowy kruszec. Ludzie zawsze wysoko je cenili, ponieważ ładnie wygląda i rzadko występuje w przyrodzie. Posiadali je tylko władcy i bogacze. Gdyby teraz ktoś odkrył, jak zwykłe substancje, takie jak żelazo, ołów czy choćby srebro, zmienić w złoto, miałby zagwarantowaną sławę i dobrobyt.

Wytwarzanie złota w ten sposób było jednym z celów dawnej nauki, zwanej alchemią. Jeśli odrzucimy przedrostek „al-”, pozostanie słowo „chemia”. Prawdę mówiąc, obie dziedziny są ze sobą spokrewnione, choć dziś nie nazwalibyśmy już alchemii nauką ze względu na jej powiązania z magią i wierzeniami religijnymi. W przeszłości jednak paranie się alchemią było szanowanym zajęciem. W wolnym czasie Isaac Newton (rozdział 16) trudnił się alchemią i kupował mnóstwo wag, dziwnych szklanych naczyń i innego sprzętu. Innymi słowy, wyposażał laboratorium chemiczne.

Pewnie niektórzy z was byli w laboratorium albo widzieli je na zdjęciach lub filmach. Słowo „laboratorium” albo „pracownia” oznaczało po prostu miejsce, gdzie się pracuje. Dawno temu w laboratoriach krzątali się alchemicy. Alchemia ma długą historię sięgającą czasów starożytnego Egiptu, Chin i Persji. Celem tych „naukowców” nie zawsze była jedynie przemiana mniej cennych (podstawowych) metali w złoto. Chodziło im także o ujarzmienie natury i sprawowanie kontroli nad otaczającym nas światem. Alchemia często wymagała stosowania magii (rzucania zaklęć) albo wykonywania poszczególnych czynności w odpowiedniej kolejności. Alchemicy eksperymentowali z różnymi substancjami, aby zobaczyć, co się stanie, gdy je podgrzeją albo zmieszają ze sobą. Lubili używać mieszanek wchodzących w gwałtowne reakcje, takich jak fosfor i rtęć. To mogło być niebezpieczne, ale wyobraźmy sobie, jaką mieliby satysfakcję, gdyby udało im się znaleźć odpowiednią kombinację składników i stworzyć **kamień filozoficzny**. Ten kamień (w zasadzie szczególny związek chemiczny) transmutowałby ołów lub cynę w złoto albo zapewniałby wieczne życie (jak w książce o Harrym Potterze).

Przygody Harry’ego Pottera są zabawne, ale dzieją się w świecie wyobraźni. Moce, które pragnęli okiełznać śre-

dniowieczni magowie i alchemicy, w rzeczywistości nie istnieją, a wielu z nich po prostu udawało, że potrafi dokonać niezwykłych rzeczy. Niektórzy byli jednak solidnymi rzemieślnikami żyjącymi w świecie, w którym wszystko wydawało się możliwe. W trakcie swoich badań dokonali wielu odkryć z dziedziny zwanej dziś chemią. Na przykład nauczyli się przeprowadzać destylację, czyli podgrzewać mieszanki i zbierać substancje, które w różnych momentach tego procesu oddzielały się od pozostałych. Silne trunki, takie jak brandy i gin, wytwarza się w drodze destylacji, podczas której wzrasta stężenie alkoholu w napoju. Tak powstaje też spirytus, którego nazwa pochodzi od łacińskiego słowa oznaczającego „ducha” albo „tchnienie”. Zatem do wydestylowania alkoholi częściowo przyczyniła się alchemia.

Dawniej większość ludzi wierzyła w magię. (Niektórzy nadal w nią wierzą). Wielu słynnych uczonych w przeszłości studiowało sekrety natury, aby poznać magiczne siły. Pewien człowiek sądził, że posiadł zdolność zmiany sposobów praktykowania całej nauki i medycyny. Nazywał się Theophrastus Phillippus Aureolus Bombastus von Hohenheim, w skrócie – Paracelsus.

Paracelsus (1493–1541) urodził się w Einsiedeln w szwajcarskich Alpach. Jego ojciec był lekarzem i uczył go przyrodoznawstwa, górnictwa, mineralogii, botaniki i medycyny. Wychował go na katolika, ale młodzieniec dorastał w czasach działalności Marcina Lutra i reformacji. Wśród protestantów, a także katolików znalazł wielu przyjaciół i popleczników, chociaż i tak miał sporo wrogów. Studiował wraz z kilkoma ważnymi duchownymi i choć zawsze był człowiekiem głęboko religijnym, jego wiara – jak wszystko, co go dotyczyło – była wyjątkowa, bo oparta na chemii.

Paracelsus zgłębiał tajniki medycyny we Włoszech. Często przenosił się z miejsca na miejsce. Podróżował po całej Eu-

ropie (być może nawet odwiedził Anglię) i na pewno dotarł do Afryki Północnej. Pracował jako chirurg i zwykły lekarz. Leczył wielu bogatych i wpływowych pacjentów, odnosząc sukcesy. Nigdy jednak nie wyglądał na człowieka zamożnego, bo nie dbał o strój. Lubił pić w barach i szynkach ze zwykłymi ludźmi zamiast z wyżej postawionymi osobami. Jego wrogowie twierdzili, że popadł w alkoholizm.

Paracelsus miał tylko jedną oficjalną posadę – na Uniwersytecie w Bazylei, w swojej rodzinnej Szwajcarii. Wbrew obyczajom wykładał po niemiecku zamiast po łacinie, a jednym z jego pierwszych czynów było spalenie dzieł Galena na rynku. Nie potrzebował jego mądrości, Hipokratesa ani Arystotelesa. Chciał zacząć od nowa. Był przekonany, że jego poglądy na temat wszechświata, w przeciwieństwie do poglądów jego poprzedników, są słuszne.

Krótko po tym, jak rozpalił ognisko na placu, został zmuszony do opuszczenia miasta i udania się na tułaczkę. Zatrzymywał się na kilka miesięcy, najwyżej rok w jakimś miejscu, ale zawsze był niespokojny i gotowy spakować swój skromny dobytek, aby ruszyć dalej. Zapewne zabierał ze sobą niewiele więcej ponad swoje rękopisy i aparaturę chemiczną. Podróżował zawsze powoli: pieszo, konno lub wozem, często błotnistymi i niebezpiecznymi drogami. Zadziwiające, że przy jego trybie życia cokolwiek udało mu się osiągnąć. Jednak wyleczył wielu pacjentów, a także napisał sporo książek, obserwował otoczenie i ciągle przeprowadzał doświadczenia chemiczne.

Chemia była jego pasją. Nie żartował, gdy mówił, że nie potrzebuje wskazówek starożytnych, aby prowadzić własne badania. Nie miał czasu na cztery żywioły: powietrze, ziemię, ogień i wodę. Dla niego liczyły się trzy podstawowe składniki: sól, siarka i rtęć, na które dało się rozłożyć prawie wszystko. Sól nadawała rzeczom kształt, czyli masyw-

ność. Dzięki siarce mogły się palić. Rtęć odpowiadała za stan gazowy lub płynny. Poprzez pryzmat tych trzech składników Paracelsus interpretował eksperymenty w swoim laboratorium. Interesowało go, w jaki sposób kwasy rozpuszczają przedmioty i jak zamarza alkohol. Spalał substancje i dokładnie analizował to, co z nich zostało. Destylował wiele płynów, zbierał i opisywał wydzielające się i pozostające po reakcji składniki. Krótko mówiąc, spędzał mnóstwo czasu w laboratorium, starając się zapanować nad naturą.

Wierzył, że doświadczenia chemiczne pomogą mu zrozumieć, jak funkcjonuje świat, a chemia dostarczy medykom nowe leki. Przed nim większość stosowanych lekarstw była pochodzenia roślinnego. Paracelsus, choć sam czasami przepisywał pacjentom środki ziołowe, wolał podawać im preparaty, które przebadał w swoim laboratorium. Jego faworytem była rtęć. To bardzo silna trucizna, ale Paracelsus aplikował ją w postaci maści na schorzenia skóry i wierzył, że jest najlepszym środkiem na szerzący się w Europie syfilis, chorobę przenoszoną głównie drogą płciową, powodującą uciążliwą wysypkę, niszczącą nos i zazwyczaj śmiertelną. W latach dziewięćdziesiątych XV wieku, gdy Paracelsus był dzieckiem, we Włoszech wybuchła epidemia syfilisu, zbierając śmiertelne żniwo. W czasach, kiedy był już lekarzem, syfilis również się szerzył i prawie wszyscy lekarze mieli cierpiących na niego pacjentów, a niejednokrotnie i sami na niego chorowali. Paracelsus opisał wiele symptomów tego schorzenia i zalecał leczenie go rtęcią. Mimo że jej podawanie powodowało wypadanie zębów i potwornie śmierdzący oddech, uwalniało od wysypki, więc przez wiele lat medycy stosowali ją do leczenia syfilisu i innych chorób objawiających się wykwitami skórnymi.

Paracelsus opisał też mnóstwo innych chorób, a także rany i schorzenia występujące u górników, zwłaszcza niewydol-

ność płuc spowodowaną złymi warunkami i długim czasem pracy. Jego troska o skromnych i biednych górników wynikała zapewne z tego, że spędzał życie wśród zwykłych ludzi.

Hipokrates, Galen i inni medycy przed Paracelsusem sądzili, że choroba jest skutkiem zakłócenia równowagi organizmu. Jednak dla Paracelsusa była ona wynikiem działania zewnętrznej siły. To „coś" (które nazwał łacińskim słowem ***ens*** oznaczającym „byt" albo „substancję") atakowało ciało, powodowało zachorowanie i wywoływało zmiany, których lekarze szukali, aby na ich podstawie rozpoznać, jaka to choroba. ***Ens*** mogło objawiać się krostami, ropniem albo kamieniem w nerce. Znaczący przełom, którego dokonał Paracelsus, polegał na oddzieleniu pacjenta od choroby. Ten sposób myślenia rozpowszechnił się dopiero znacznie później – po odkryciu bakterii.

Paracelsus chciał rozwijać naukę i medycynę, opierając je na nowych, stworzonych przez siebie podstawach. Powtarzał, że ludzie, zamiast czytać książki, powinni samodzielnie obserwować i eksperymentować. Oczywiście chciał też, aby czytali napisane przez niego dzieła, z których część została opublikowana dopiero po jego śmierci. Jego przesłanie tak naprawdę brzmiało: „Nie traćcie czasu na Galena, czytajcie Paracelsusa". Świat tego naukowca był pełen magicznych sił, a on sam wierzył, że będzie w stanie je zrozumieć i zaprząc w służbę nauki i medycyny. Jego alchemicznym marzeniem nie było transmutowanie metali w złoto, ale zapanowanie nad wszystkimi magicznymi i tajemniczymi siłami natury.

Za życia Paracelsus miał niewielu naśladowców, dopiero po jego śmierci było ich więcej. Nazywali oni samych siebie paracelsianami i, podążając śladem swojego mistrza, próbowali zmienić medycynę i naukę. Eksperymentowali w laboratoriach i stosowali chemiczne leki w praktyce medycznej.

Jak Paracelsus, usiłowali okiełznać siły natury za pomocą naturalnej magii.

Paracelsianie zawsze pozostawali poza głównym nurtem medycyny i nauki. Większość medyków i uczonych nie była skłonna całkowicie odrzucić spuścizny starożytnych lekarzy. Jednak przesłanie Paracelsusa zyskiwało coraz więcej zwolenników. Naukowcy zaczęli samodzielnie patrzeć na świat. W 1543 roku, czyli dwa lata po śmierci medyka, opublikowano dwie książki – jedną o anatomii, drugą o astronomii, które również podważały autorytet starożytnych uczonych. Ludzie na nowo spojrzeli na wszechświat.

ROZDZIAŁ 10

Odkrywanie ludzkiego ciała

Jeśli naprawdę chcesz zrozumieć, jak coś zostało zrobione, zwykle najlepiej rozłożyć to na części. W przypadku niektórych przedmiotów, takich jak zegarki i samochody, pomocna bywa również wiedza, jak należy je ponownie złożyć w całość. Aby zrozumieć, jak jest zbudowane ciało człowieka lub zwierzęcia, również trzeba je obejrzeć. Ale by „rozłożyć je na części”, musi być ono martwe.

Galen, jak wiemy, kroił na części ciała zwierząt, ponieważ przeprowadzanie sekcji zwłok człowieka było zabronione. Założył, że anatomia świń czy małp jest bardzo podobna do ludzkiej. I pod pewnymi względami miał rację, chociaż są też różnice. Sekcje ludzkich zwłok zaczęto sporadycznie wykonywać dopiero w XIV wieku, gdy w akademiach medycznych wprowadzono naukę anatomii. Początkowo, kiedy ludzie stwierdzili różnice między tym, co widzieli w badanych zwłokach, a opisami Galena, uznali, że budowa ludzi po prostu się zmieniła, a nie, że to Galen się pomylił! Gdy jednak anatomowie zaczęli uważniej przyglądać się organi-

zmowi, zauważyli jeszcze więcej drobnych różnic. Stało się jasne, że w ludzkich ciałach jest jeszcze wiele do zbadania.

Tych odkryć dokonał anatom i chirurg zwany Wesaliuszem (1514–1564). Właściwie nazywał się Andries Wytinck van Wesel. Urodził się w Brukseli (obecnie Belgia). Jego ojciec był aptekarzem cesarza Karola V. Van Wesel początkowo studiował sztukę na uniwersytecie w Leuven, ale przeniósł się na medycynę. Jako człowiek ambitny pojechał do Paryża, gdzie wykładali najlepsi profesorowie, zwolennicy Galena. Znał grekę i łacinę, fascynowało go przeprowadzanie sekcji zwłok. Jednak wojna między cesarstwem Habsburgów a Francją zmusiła go do opuszczenia Paryża. Dlatego wprowadził robienie sekcji zwłok na fakultecie medycznym w Leuven. W 1537 roku udał się do najlepszej ówczesnej akademii medycznej na uniwersytecie w Padwie. Egzaminy zdał z najwyższymi ocenami, a następnego dnia został mianowany wykładowcą chirurgii i anatomii. (W Padwie szybko orientowano się, kiedy trafiał im się wartościowy naukowiec). Wesaliusz uczył anatomii, prowadząc pokazowe sekcje zwłok. Studenci go uwielbiali. Rok później opublikował szereg pięknych ilustracji anatomicznych różnych części ludzkiego ciała. Okazały się tak dobre, że lekarze w całej Europie zaczęli je kopiować i korzystać z nich. Wesaliusz nie był z tego zadowolony, ponieważ po prostu ukradli jego prace.

Rozcinanie ludzkich zwłok nie należy do przyjemnych zajęć. Po śmierci ciało szybko zaczyna się rozkładać i cuchnąć, a w czasach Wesaliusza nie znano sposobu, by powstrzymać procesy gnilne. Dlatego sekcję zwłok trzeba było przeprowadzać szybko, zanim fetor stał się nie do wytrzymania. Najpierw otwierano brzuch, gdyż wnętrzności najszybciej ulegały rozkładowi. Następnie badano głowę i mózg, później serce, płuca i inne organy w klatce piersio-

wej. Ręce i nogi zostawiano na koniec, gdyż zachowywały się w najlepszym stanie. Całą sekcję należało zakończyć w ciągu dwóch – trzech dni. Anatomii nauczano głównie zimą, gdy chłód spowalniał rozkład ciała, co dawało lekarzom nieco więcej czasu.

Sposoby konserwowania ciał odkryto dopiero w XVIII wieku. Wówczas łatwiej było wydłużyć sekcję zwłok i zbadać je w całości. Gdy studiowałem medycynę, przeprowadzenie pełnej sekcji zwłok zajmowało nam osiem miesięcy i w dniach, kiedy wypadały te zajęcia, moje ubrania i palce śmierdziały wcale nie rozkładającym się ciałem, ale chemicznymi konserwantami. Badałem zwłoki staruszka i w ciągu tych miesięcy dobrze poznałem ludzki organizm. Kolejność wykonywania czynności podczas sekcji była mniej więcej taka sama jak w czasach Wesaliusza, z jednym wyjątkiem – mózg zostawialiśmy na koniec, ponieważ jest to skomplikowany organ i musieliśmy wcześniej nabrać wprawy w dokładnym krojeniu narządów i odsłanianiu różnych części ciała. Starszy pan ofiarował swe ciało nauce, dzięki czemu niewątpliwie wiele się nauczyłem.

Mimo konieczności szybkiego działania i nieprzyjemnego zapachu sekcje zwłok były wielką pasją Wesaliusza. Nie dowiemy się, ile ciał starannie rozkroił, ale musiało ich być dużo, ponieważ wiedział więcej o ludzkich organach niż ktokolwiek z ówcześnie żyjących. Przez ponad pięć lat intensywnie pracował jako wykładowca w Padwie, a w 1543 roku opublikował wspaniałą księgę, opasły tom o grubości 40 centymetrów i wadze blisko 2 kilogramów. Nie da się więc wsunąć tej książki do kieszeni, aby poczytać ją w wakacje. Dzieło zatytułował *De humani corporis fabrica* (*O budowie ludzkiego ciała*) i w skrócie często bywa nazywane jako *Fabrica*. Zostało pięknie i szczegółowo zilustrowane. Wesa-

liusz pojechał do Bazylei w Szwajcarii, aby nadzorować drukowanie tekstu i przygotowywanie ilustracji.

Żyjemy w świecie pełnym obrazów. Cyfrowe aparaty fotograficzne ułatwiają przesyłanie zdjęć przyjaciołom, a w gazetach i magazynach ilustracje są na każdej stronie. W czasach Wesaliusza było inaczej. Prasa drukarska została wynaleziona zaledwie sto lat wcześniej, a ilustracje odbijano za pomocą drewnianych klocków misternie wyrzeźbionych na podstawie rysunków. Te klocki, tak jak stemple, nasączano farbą drukarską i przyciskano do papieru.

Rysunki w dziele Wesaliusza są znakomite. Nigdy wcześniej ludzkie ciało nie zostało przedstawione tak wiernie i szczegółowo. Już strona tytułowa zapowiada, że w środku czeka czytelnika coś wyjątkowego. Umieszczony na niej rysunek przedstawia sekcję zwłok kobiety. Zabiegowi przyglądają się setki stłoczonych widzów. Wesaliusz stoi w środku, obok ciała, i jest jedyną postacią patrzącą w oczy odbiorcy dzieła. Reszta zgromadzonych jest zafascynowana sekcją albo szepce między sobą. Po lewej stronie ilustracji znajduje się małpa, a po prawej – pies. Przypominają one, że Galen musiał przeprowadzać badania anatomiczne na zwierzętach. Wesaliusz w swojej księdze mówi o budowie ludzkiego organizmu na podstawie osobiście przeprowadzonych sekcji zwłok. Był to dość śmiały czyn, na który odważył się anatom, który nie osiągnął jeszcze trzydziestego roku życia.

Jednak Wesaliusz miał wszelkie powody do tego, aby czuć się pewnie w swoich odkryciach. Wiedział, że zajrzał głębiej w ludzkie ciało niż ktokolwiek inny. Wśród przepięknych ilustracji do tej księgi są drzeworyty przedstawiające mięśnie z przodu i z tyłu ciała, a mięśnie położone bliżej skóry są rozkrojone w celu uwidocznienia tych leżących głębiej. Ci „umięśnieni” ludzie zostali pokazani na tle krajobrazów, a budynki, drzewa, skały i wzgórza zostały odpowiednio

wkomponowane w obraz. Jeden z „pacjentów” Wesaliusza jest powieszony za szyję – chodziło o to, by pokazać, że anatom często badał zwłoki skazanych na śmierć kryminalistów. Pewnego razu znalazł powieszonego przestępcę, którego ciało zostało zjedzone przez ptaki i pozostał tylko nagi szkielet. Przemycił jego kości jedna po drugiej do swojego laboratorium, aby badać je na osobności.

Dla Wesaliusza pracował bardzo utalentowany artysta, ale nie znamy jego imienia. W tamtej epoce, zwanej odrodzeniem albo renesansem, nauka była ściśle powiązana ze sztuką. Wielu renesansowych artystów, jak Leonardo da Vinci (1452–1519) czy Michał Anioł (1475–1564), przeprowadzało sekcje zwłok, aby lepiej malować ludzi. Nie tylko lekarze chcieli poznać budowę ciała człowieka.

Wesaliusz był zafascynowany budową organizmu (co jest przedmiotem badań anatomii), ale zwłoki nie funkcjonują: nie oddychają, nie trawią i nie poruszają się jak żywi ludzie (działaniem organizmu zajmuje się fizjologia). Toteż długo pisana księga Wesaliusza łączyła stare i nowe idee. Autor często podkreślał, że Galen nieprawidłowo opisał określony organ czy mięsień, i na swój sposób robił poprawki. Na przykład Galen, opisując budowę wątroby, mówił o świńskim gruczole, który ma pięć płatów, czyli części. Wątroba człowieka ma tylko cztery płaty, które nie są zbyt wyraźnie wyodrębnione. Niektóre mięśnie ludzkiej ręki i stopy różnią się od mięśni spokrewnionych z nami małp. Poprawek wymagała też teoria Galena o przepływie krwi z prawej do lewej połowy serca. Jego zdaniem krew przesączała się przez drobne pory między komorami. Wesaliusz przeprowadził wiele sekcji ludzkich serc i nie znalazł żadnych porów. Wyniki jego badań w tym przypadku przydały się kilka dekad później, gdy William Harvey zaczął dokładniej analizować istotę pracy krwi i serca. Jednak przedstawiony przez Wesa-

liusza opis funkcjonowania żywego organizmu wciąż opierał się na wielu koncepcjach Galena. Być może dlatego jego rysunki zyskały znacznie większe uznanie niż jego teksty. Ilustracje bardzo szybko skopiowano i wykorzystywano w całej Europie, a medyk stał się sławny (lecz nie wzbogacił się na tym).

Wesaliusz żył jeszcze dwadzieścia lat, ale publikacja dzieła *Fabrica* była kulminacją jego kariery. Opracował drugie wydanie książki, wprowadzając kilka korekt. Jednak wkrótce po ukazaniu się pierwszej edycji został nadwornym lekarzem. Zajął się leczeniem bogatych i mających władzę. Być może uznał, że napisał już wszystko, co miał do przekazania.

Wesaliusz zrobił dość, aby mieć pewność, że przetrwa w pamięci potomnych. *Fabrica* – połączenie sztuki i anatomii – pozostaje jedną z najlepszych ksiąg wszech czasów, a dbałość, z jaką została wydana, zachwyca do dziś. Wraz z tą księgą naukowiec podarował nam dwa ponadczasowe dary. Po pierwsze, zachęcił innych lekarzy do kontynuowania badań i drobiazgowego opisywania budowy ludzkiego ciała. Późniejsi anatomowie odkryli części organizmu, które pominął Wesaliusz, lub skorygowali jego błędy. Artystyczne przedstawienie starannych sekcji w dziele Wesaliusza zainspirowało do ilustrowania książek przekrojami ludzkiego ciała. *Fabrica* to pierwsze, lecz nie ostatnie dzieło, w którym ilustracje były ważniejsze od tekstu. Trzeba było nauczyć lekarzy patrzeć na to, co mieli przed sobą, lecząc pacjenta, a ilustracje Wesaliusza bardzo im w tym pomagały.

Po drugie, Wesaliusz przeciwstawił się Galenowi. Nie był arogancki wobec niego jak Paracelsus, tylko spokojnie i rzeczowo wykazał, że można posiąść znacznie szerszą wiedzę, niż miał Galen. Udowodnił, że z pokolenia na pokolenie zasób wiedzy może wzrastać. Pomógł rozpocząć debatę, która

trwała ponad sto lat. Pytanie było proste: czy można wiedzieć więcej od starożytnych uczonych? Tysiąc lat przed Wesaliuszem odpowiedź brzmiała przecząco, po Wesaliuszu stopniowo się zmieniała. Ludzie zaczęli myśleć: „Gdyby wszystko, co warte poznania, zostało już odkryte, po co byłoby się trudzić? Ale gdy przyjrzę się czemuś samodzielnie, może zobaczę coś, czego nie dostrzegł nikt inny”. Wesaliusz ośmielił lekarzy i naukowców, by jednak podjęli ten trud.

ROZDZIAŁ 11

Gdzie jest centrum wszechświata?

Co rano Słońce wschodzi na wschodzie i co wieczór zachodzi na zachodzie. W ciągu dnia powoli przesuwa się po niebie, a nasz cień jest dłuższy lub krótszy, pada przed nami albo za nami w zależności od tego, gdzie aktualnie znajduje się nasza gwiazda. W południe twój cień powinien być pod tobą. Jest to tak naturalne, że nie zwracasz na to zjawisko uwagi. A ponieważ zdarza się ono codziennie, jeśli dzisiaj przegapisz ten „pokaz”, możesz obejrzeć go jutro.

Jednak według badaczy Słońce nie zawsze krążyło wokół Ziemi. Możesz sobie wyobrazić, jak trudno było przekonać ludzi, że to, co wydaje im się oczywiste, tak naprawdę wcale nie ma miejsca. Ujmijmy to w ten sposób: Ziemia znajduje się w centrum **naszego** świata, ponieważ to z niej spoglądamy na Słońce, Księżyc i gwiazdy. Jest naszym centrum, ale nie **całego** wszechświata.

Wszyscy starożytni obserwatorzy gwiazd sądzili, że Ziemia znajduje się w środku wszechświata. Pamiętasz Arystotelesa? Po nim Ptolemeusz, najbardziej wpływowy grecki astro-

nom, sumiennie notował pozycje gwiazd noc po nocy, miesiąc po miesiącu i rok po roku. Patrzenie na gwiazdy na bezchmurnym niebie to magiczne przeżycie, a rozpoznawanie grup gwiazd, czyli konstelacji albo gwiazdozbiorów, sprawia dużą satysfakcję. Małą Niedźwiedzicę (Mały Wóz) albo Pas Oriona łatwo odszukać na pogodnym niebie. Na końcu dyszla Małego Wozu błyszczy Gwiazda Polarna, która pomagała żeglarzom utrzymać w nocy właściwy kierunek rejsu.

Model wszechświata, z Ziemią umieszczoną w centrum i ciałami niebieskimi krążącymi wokół niej po idealnych okręgach, sprawiał problemy. Rozpatrzmy to na przykładzie gwiazd. W ciągu nocy stopniowo zmieniają swoje położenie. Wiosenna równonoc (gdy Słońce znajduje się dokładnie nad równikiem i dlatego dzień i noc są równej długości) zawsze intrygowała astronomów, ale też i innych uczonych. Przypada na 20 lub 21 marca, a 21 marca oficjalnie rozpoczyna się wiosna. Problem w tym, że każdego pierwszego dnia wiosny gwiazdy znajdują się w nieco innych pozycjach, a gdyby krążyły po idealnych okręgach wokół Ziemi, ich pozycje byłyby stałe. To zjawisko astronomowie nazwali **precesją punktu równonocy** i musieli dokonać skomplikowanych obliczeń, aby je wyjaśnić.

Ruch planet również był zagadką. Gdy patrzymy nieuzbrojonym okiem w nocne niebo, planety wyglądają jak jasne gwiazdy. Starożytni astronomowie sądzili, że jest siedem planet: Merkury, Wenus, Mars, Jowisz i Saturn, a także Słońce i Księżyc (które również zwali planetami). Niewątpliwie znajdowały się one znacznie bliżej Ziemi niż tak zwane gwiazdy stałe. Tym terminem określano niegdyś te ciała niebieskie, których wzajemne położenie nie zmieniało się, np. gwiazdy w Drodze Mlecznej. Z obserwacji planet wynikły kolejne problemy, ponieważ okazało się, że wcale nie

obiegają one Ziemi po okręgach. Ich ruch nie wydaje się stały, a czasami można odnieść wrażenie, że planety wręcz się cofają. Aby rozwiązać ten problem, astronomowie oznajmili, że punktem, wokół którego krążą planety, nie jest środek Ziemi, tylko **ekwant**. Ten zabieg i inne obliczenia pozwoliły im wyjaśnić położenie obiektów na nocnym niebie bez konieczności odrzucania modelu geocentrycznego. Nadal można było zakładać, że Ziemia znajduje się w centrum wszechświata, a wokół niej krążą inne ciała niebieskie.

Co by się stało, gdyby zamiast Ziemi w centrum wszechświata umieścić Słońce i przyjąć, że planety (wśród nich także Ziemia) krążą wokół niego? Ludzkość przez tysiąclecia wierzyła w geocentryczną teorię. Nietrudno nam zrozumieć, jak dramatycznym krokiem było wprowadzenie nowej, heliocentrycznej koncepcji. Przeczyła ona temu, co obserwujemy codziennie na niebie, podważała teorię Arystotelesa i – co ważniejsze – naukę Kościoła, ponieważ w Biblii Jozue modlił się do Boga, aby zatrzymał poruszające się Słońce. Znalazł się jednak ktoś, kto śmiało umieścił Słońce w centrum wszechświata – polski kanonik Mikołaj Kopernik.

Mikołaj Kopernik (1473–1543) urodził się i umarł w Polsce, ale prawo i medycynę studiował we Włoszech. Gdy miał dziesięć lat, zmarł jego ojciec, więc o edukację bystrego chłopca zadbał wuj, który wysłał go na Akademię Krakowską. Gdy wuj został biskupem warmińskim, Kopernik otrzymał stanowisko w katedrze we Fromborku. Dzięki temu miał stały dochód i mógł studiować we Włoszech, a po powrocie do Polski zajmować się swoją pasją – badaniem nieba. Kazał zbudować wieżę bez dachu, w której umieścił swoje instrumenty astronomiczne. Wtedy nie znano jeszcze teleskopu, więc przyrządy pozwalały mu jedynie mierzyć kąty między różnymi ciałami niebieskimi a horyzontem oraz

fazy Księżyca. Kopernik interesował się również zaćmieniami, które następują, gdy Słońce, Księżyc lub planeta wejdą w drogę innemu ciału niebieskiemu i zostaną przez nie częściowo lub całkowicie zasłonięte.

Nie wiemy dokładnie, kiedy Kopernik uznał, że heliocentryczny model nieba i Układu Słonecznego (jak go teraz nazywamy) lepiej wyjaśnia obserwacje prowadzone od tysięcy lat. Ale w 1514 roku napisał krótki traktat i pokazał go kilku zaufanym przyjaciołom. Nie ośmielił się go opublikować. Stwierdził w nim, że niemal na pewno „środek Ziemi nie jest centrum wszechświata" i „obracamy się wokół Słońca jak wszystkie inne planety". Wnioski były dość jednoznaczne. Przez następne trzy dekady Kopernik dalej pracował nad swoją teorią heliocentryczną. Dużo czasu spędzał na obserwowaniu nieba. Studiował przekazy innych astronomów i zastanawiał się, jak ich problemy można rozwiązać przy założeniu, że Słońce znajduje się w centrum wszechświata, a wokół niego krążą planety. W ten sposób udało mu się wyjaśnić wiele zaobserwowanych zjawisk, takich jak zaćmienia czy dziwne ruchy planet w przód i w tył. Poza tym oświetlające i ogrzewające nas Słońce odgrywa tak ważną rolę w ludzkim życiu, że uczynienie z niego centrum poniekąd potwierdzało, że bez niego życie na Ziemi byłoby niemożliwe.

Model Kopernika miał też inne bardzo poważne konsekwencje. Wynikało z niego, że gwiazdy znajdują się znacznie dalej od Ziemi, niż sądzili Arystoteles i inni dawni myśliciele. Zdaniem Arystotelesa czas był nieskończony, a przestrzeń określona. Kościół nauczał, że czas był określony (przez kilka tysięcy lat wstecz do momentu, gdy Bóg stworzył wszechświat) i przestrzeń też – być może z wyjątkiem nieba. Kopernik zaakceptował kościelną ideę czasu i stworzenia wszechświata, ale z jego pomiarów wynikało, że od-

ległość między Ziemią a Słońcem jest dużo mniejsza niż między Słońcem a innymi gwiazdami. Obliczył również przybliżoną odległość Słońca od planet i Księżyca od Ziemi. Wszechświat był znacznie większy, niż ludziom się początkowo wydawało.

Kopernik zdawał sobie sprawę z tego, że wyniki jego badań wywołają szok, ale pod koniec życia postanowił opublikować swoje koncepcje. W 1542 roku ukończył wielkie dzieło *De revolutionibus orbium coelestium* (*O obrotach sfer niebieskich*). Wtedy był już starym, schorowanym człowiekiem, więc pieczę nad jego drukiem powierzył Retykowi – przyjacielowi, który zapoznał się z jego teorią. Retyk zajął się tym, ale musiał wrócić do pracy na uniwersytecie w Niemczech, więc przekazał zadanie niemieckiemu teologowi Andreasowi Osianderowi. Księga została wydana w 1543 roku. Jednak Osiander uznał, że idee Kopernika są niebezpieczne, więc poprzedził dzieło własną przedmową. Napisał, że koncepcje polskiego uczonego to jedynie hipotetyczny sposób rozwiązania na drodze matematycznej problemów, które od dawna próbowali rozwikłać astronomowie w modelu geocentrycznym. Osiander miał prawo do własnej opinii, ale postąpił nieuczciwie – napisał przedmowę tak, jakby to były wyjaśnienia samego Kopernika. Ponieważ się pod nią nie podpisał, ludzie założyli, że to Kopernik chciał im przekazać te słowa. Astronom był już wówczas bliski śmierci i nie mógł nic zrobić, aby ujawnić prawdę czytelnikom. W efekcie przez niemal sto lat analitycy tego wspaniałego dzieła byli przekonani, że Kopernik jedynie rozważał sposoby wyjaśnienia tego, co widać na niebie każdej nocy, ale tak naprawdę nie powiedział, że Ziemia krąży wokół Słońca.

Z powodu tej przedmowy ludzie ignorowali rewolucyjny przekaz polskiego astronoma. Jednak wielu przeczytało

dzieło Kopernika, a jego komentarz i obliczenia miały wpływ na astronomię przez kilka dekad po jego śmierci. Dwaj wybitni astronomowie poprowadzili jego dzieło dalej. Jeden z nich, Duńczyk Tycho Brahe (1546–1601), zwrócił uwagę na fakt, że Kopernik upierał się, iż wszechświat musi być bardzo duży, więc gwiazdy znajdują się znacznie dalej. Zaćmienie Słońca w 1560 roku pobudziło wyobraźnię Tycha Brahego i choć jego szlachecka duńska rodzina chciała, aby studiował prawo, mogło go usatysfakcjonować tylko badanie nieba. W 1572 roku zauważył nową, bardzo jasną gwiazdę na nocnym niebie. Opisał tę *nova stella* („nową gwiazdę”) i stwierdził, że jej pojawienie się dowodzi, że niebo nie jest całkiem doskonałe i niezmienne. Wybudował dla siebie obserwatorium astronomiczne na wyspie u wybrzeża Danii i wyposażył je w najnowocześniejszy sprzęt. (Jednak teleskop wciąż jeszcze nie został skonstruowany). W 1577 roku Brahe śledził tor komety. Generalnie pojawienie się komet traktowano jako zły omen, ale dla Brahego oznaczało ono jedynie, że ciała niebieskie nie są przymocowane do sfer niebieskich, skoro komety mogą je przecinać.

Tycho Brahe dokonał wielu ważnych odkryć na temat pozycji i ruchów gwiazd oraz planet. W końcu musiał zamknąć swoje obserwatorium i przenieść się do Pragi, gdzie w 1597 roku otworzył nowe. Trzy lata później mianował swoim asystentem Johannesa Keplera (1571–1630). Mimo że Brahe nigdy nie zaakceptował kopernikańskiego modelu heliocentrycznego, to gdy zmarł w 1601 roku, pozostawił wszystkie swoje notatki i manuskrypty swojemu asystentowi, który miał inne poglądy. Kepler z szacunkiem traktował pamięć o swoim mistrzu i część jego prac przygotował do druku, ale też wprowadził astronomię na całkiem nową drogę rozwoju.

Kepler wiódł burzliwe i chaotyczne życie. Jego żona i córeczka zmarły, a matka została oskarżona o czary. Był gorliwym protestantem we wczesnym okresie reformacji, ale to do katolików należała władza, więc musiał uważać na każdy swój krok. Wierzył, że porządek w kosmosie potwierdza jego własne mistyczne uznanie dla stworzenia świata przez Boga. Z tego powodu jego obliczenia były bardzo skrupulatne i precyzyjne, więc wniosły trwały wkład w astronomię. W notatkach Keplera, często trudnych do zrozumienia, znalazły się trzy koncepcje, które miały doniosłe znaczenie. Do dziś znane są jako prawa Keplera.

Pierwsze dwa prawa są ściśle ze sobą powiązane. W ich sformułowaniu pomogły mu wyniki dokładnych obserwacji ruchów Marsa, które pozostawił mu Tycho Brahe. Kepler długo analizował te dane, zanim zdał sobie sprawę z tego, że planety nie zawsze poruszają się z tą samą prędkością. Okazało się, że ich ruch jest szybszy, gdy są bliżej Słońca, a wolniejszy, gdy się od niego oddalają. Stwierdził, że jeśli poprowadzi się linię od Słońca (centrum wszechświata) do planety, to pole zakreślane przez tę linię jest stałe, a nie prędkość planety. Spostrzeżenia te zawarł w drugim prawie. Konsekwencją tej tezy było sformułowanie pierwszego prawa, mówiącego o tym, że planety nie poruszają się po idealnych okręgach, ale po elipsach (spłaszczonych okręgach). Choć o grawitacji jeszcze wówczas nie słyszano, Kepler wiedział, że na poruszające się planety działa jakaś siła. Zdawał sobie sprawę z tego, że elipsa jest naturalnym torem ciał krążących wokół centralnego punktu, tak jak planety wokół Słońca. Drugie prawo Keplera pokazało, że starożytna koncepcja ruchu po idealnym okręgu była błędna.

Trzecie prawo Keplera miało bardziej praktyczny aspekt. Naukowiec wykazał w nim, że zachodzi specjalny związek między czasem obiegu planet wokół Słońca a ich średnią

odległością od niego. Dzięki tej zależności astronomowie mogli obliczać odległości planet od Słońca i zyskali pojęcie o tym, jak wielki jest Układ Słoneczny, a jednocześnie jak mały w porównaniu z ogromnymi odległościami między nim a gwiazdami. Na szczęście mniej więcej w tym samym okresie zbudowano instrument, który pozwolił zajrzeć dalej w kosmos. Człowiekiem, który uczynił z teleskopu potężne narzędzie, był słynny astronom Galileusz.

ROZDZIAŁ 12

Krzywa wieża i teleskop: Galileusz

Jedną z najdziwniejszych budowli na świecie jest 850-letnia dzwonnica katedry we włoskim mieście, znana jako krzywa wieża w Pizie. Zabawne jest robienie zdjęć przyjaciołom, którzy udają, że podtrzymują walącą się wieżę. Galileusz ponoć robił na niej eksperymenty: ze szczytu zrzucał kule o różnej wadze, aby sprawdzić, która z nich spadnie pierwsza. Anegdota ta nieco ubarwia prawdę. Galileusz nie zrzucał przedmiotów z dzwonnicy, ale przeprowadził inne doświadczenia, które pomogły mu stwierdzić, że kule półkilogramowa i pięciokilogramowa spadłyby na ziemię w tej samej chwili. Ten eksperyment przeczył codziennemu doświadczeniu, podobnie jak stwierdzenie, że Słońce nie obiega codziennie Ziemi. W końcu przecież piórko i kula nie spadają z wieży z tą samą prędkością. Dlaczego kule o różnej masie miałyby dotknąć ziemi w tej samej chwili?

Galileusz (1564–1642) urodził się w Pizie, ale dorastał w pobliskiej Florencji, gdzie jego ojciec był muzykiem. Jako młodzieniec wrócił do Pizy, aby na tamtejszym uniwersyte-

cie studiować medycynę. Zawsze jednak bardziej interesowała go matematyka. Mimo że uchodził za inteligentnego i błyskotliwego studenta, porzucił uczelnię. W 1592 roku przeniósł się do Padwy, gdzie uczył matematyki i tego, co moglibyśmy nazwać fizyką. W Padwie studiował William Harvey, o którym opowiemy w następnym rozdziale. Szkoda, że ci dwaj geniusze prawdopodobnie nigdy się nie spotkali!

Przez całe życie Galileusz swoimi poglądami wzbudzał kontrowersje. Wydaje się, że zawsze podważał powszechnie akceptowane poglądy, zwłaszcza fizykę i astronomię Arystotelesa oraz innych starożytnych uczonych. Był dobrym katolikiem, ale uważał też, że religia to kwestia moralności i wiary, a obserwowalny, fizyczny świat to domena nauki. Twierdził, że Biblia uczy nas, jak dostać się do nieba, nie jak ono funkcjonuje. Z tego powodu wszedł w konflikt z Kościołem zdecydowanie broniącym się przed tymi, którzy ośmielali się kwestionować jego doktryny lub autorytet. Katoliccy hierarchowie zaczęli również kontrolować książki, coraz liczniej wydawane za pomocą pras drukarskich. Te, których nie akceptowali, umieszczali na liście zwanej *Index librorum prohobitorum* (*Indeks ksiąg zakazanych*). Galileusz miał wysoko postawionych znajomych (w tym książąt, biskupów, kardynałów, a nawet papieża), więc poparło go wielu duchownych. Inni jednak nie zamierzali dopuścić do tego, by jego idee podważały ich nauki, mające wielowiekową tradycję.

Wczesne prace Galileusza dotyczyły sił działających na poruszające się obiekty. Od samego początku naukowiec chciał samodzielnie obserwować i mierzyć różne rzeczy i, jeśli to możliwe, przedstawiać wyniki w postaci matematycznej. W jednym ze swoich słynnych doświadczeń spuszczał kulę z równi pochyłej i mierzył, po jakim czasie dotrze

na określoną odległość. Jak wiemy, staczająca się kula nabiera prędkości (przyspiesza). Galileusz dostrzegł związek między prędkością kuli a czasem upływającym od jej startu. Prędkość była wprost proporcjonalna do kwadratu czasu (kwadrat to wartość pomnożona przez samą siebie, na przykład 3 x 3). Zatem po dwóch sekundach kula toczyła się z cztery razy większą prędkością. (Zwróć uwagę, że kwadrat czasu pojawi się także w obliczeniach późniejszych naukowców. Natura najwyraźniej lubi wielkości podniesione do potęgi drugiej).

W tych i wielu innych eksperymentach Galileusz dał się poznać jako nowoczesny naukowiec, gdyż wiedział, że pomiary nie zawsze wychodzą tak samo. Czasami mrugniemy w niewłaściwym momencie. Innym razem minie chwila, zanim uświadomimy sobie, co widzimy. A czasem przyrządy są niedoskonałe. Możemy jednak dokonać różnych obserwacji w świecie, a Galileusza zawsze bardziej interesował świat rzeczywisty niż abstrakcyjny, w którym wszystko jest dokładne i idealne.

Wczesne prace Galileusza o poruszających się obiektach dowodzą, jak odmiennie postrzegał rzeczywistość od Arystotelesa i setek późniejszych myślicieli, choć grecki filozof wciąż cieszył się szacunkiem na uniwersytetach kierowanych przez duchownych. W 1609 roku Galileusz dowiedział się o istnieniu nowego przyrządu, który poważnie miał zagrozić starożytnym sposobom myślenia. Urządzenie to zostało nazwane **teleskopem**, gdyż służyło do patrzenia daleko, podobnie jak telefon pozwala mówić z daleka, a mikroskop – widzieć małe. Zarówno teleskopy, jak i mikroskopy wywarły ogromny wpływ na historię nauki.

Pierwszy zbudowany przez Galileusza teleskop dawał niewielkie powiększenie, ale zrobił na uczonym duże wrażenie. Galileusz szybko go ulepszył, łącząc dwie soczewki, dzięki

czemu uzyskał powiększenie, jakie dziś ma zwykła lornetka, czyli około piętnastokrotne. Nie wydaje się to zbyt imponujące, ale wtedy wywołało sensację. Za pomocą takiego teleskopu można było znacznie wcześniej niż gołym okiem dostrzec statki powracające do portu. Co ważniejsze, Galileusz skierował swój teleskop w niebo i zachwycił się tym, co tam zobaczył.

Patrząc na Księżyc, zdał sobie sprawę z tego, że nie jest on idealnie gładki i okrągły, jak do tej pory sądzono. Były na nim góry i kratery. Gdy Galileusz skierował teleskop w stronę planet, lepiej widział ich ruchy i odkrył, że Jowisz ma księżyce, tak jak Ziemia. Z kolei na Saturnie zobaczył dwie duże plamy, które nie przypominały księżyców, i nazwał je pierścieniami. Obserwując poruszające się Wenus i Marsa, uznał, że zmieniają kierunek i prędkość ruchu w regularny i przewidywalny sposób. Na Słońcu dostrzegł ciemne plamy, które codziennie przesuwały się według określonego wzoru. (Nauczył się nie patrzeć na Słońce bezpośrednio, aby chronić oczy. My robimy to podobnie). Dzięki teleskopowi przekonał się, że Droga Mleczna, która wygląda jak rozmyta plama, gdy patrzy się na nią nieuzbrojonym okiem, w rzeczywistości składa się z tysięcy pojedynczych, bardzo oddalonych od Ziemi gwiazd.

Za pomocą teleskopu Galileusz dokonał wielu ważnych obserwacji. Napisał o nich w wydanej w 1610 roku książce *Sidereus Nuncius* (*Gwiezdny posłaniec*). Wywołała ona ferment. Każde jego odkrycie kwestionowało to, co ludzie dotąd wiedzieli o kosmosie. Niektórzy sądzili, że idee Galileusza były oparte na sztuczkach robionych za pomocą jego nowej „tuby”, jak często nazywano teleskop, ponieważ w kosmosie nie mogło być czegoś, czego nie było widać gołym okiem. Galileusz usiłował przekonać niedowiarków, że to, co widać przez teleskop, jest prawdziwe.

Jeszcze bardziej rewolucyjne okazały się obserwacje Galileusza, które potwierdzały teorię Kopernika o Księżycu okrążającym Ziemię oraz Ziemi, Księżycu i planetach krążących wokół Słońca. Dzieło Kopernika zostało opublikowane prawie siedemdziesiąt lat wcześniej i miało wielu zwolenników zarówno wśród protestantów, jak i katolików. Zgodnie z oficjalnym stanowiskiem Kościoła katolickiego koncepcje Kopernika przydawały się do obliczania ruchów planet, ale nie odzwierciedlały rzeczywistości. Gdyby bowiem okazały się prawdziwe, zbyt wiele ustępów Biblii sprawiałoby problemy i wymagało ponownego przemyślenia i nowej interpretacji.

Jednak Galileusz chciał się podzielić swoimi odkryciami astronomicznymi. W 1615 roku pojechał do Rzymu w nadziei, że uzyska pozwolenie Kościoła, by mógł uczyć tego, co odkrył. Wiele osób, nawet sam papież, sympatyzowało z nim, ale zakaz pisania i nauczania o kopernikańskim układzie heliocentrycznym utrzymano. Galileusz nie poddał się i ponownie udał się do Rzymu w 1624 i 1630 roku, aby zorientować się, jakie nastroje towarzyszą rewolucyjnym naukom, choć coraz bardziej się starzał i niedomagał. Był przekonany, że dopóki będzie przedstawiał koncepcję Kopernika jako ewentualność, pozostanie bezpieczny. Jego dzieło astronomiczne *Dialog o dwóch najważniejszych systemach świata: ptolemeuszowym i kopernikowym* miało postać rozmowy gospodarza oraz dwóch osób referujących poglądy Arystotelesa i Kopernika. W ten sposób Galileusz omówił argumenty za nowymi koncepcjami budowy wszechświata i przeciwko nim, jednocześnie unikając wyrokowania, która ze stron ma rację.

To wspaniałe dzieło, a przy tym pełne dowcipów i – jak większość prac Galileusza – napisane w jego języku ojczystym, czyli po włosku. (Wówczas uczeni z całej Europy

wciąż pisali po łacinie). Od razu można było zgadnąć, po której stronie opowiada się Galileusz. Po pierwsze, postać reprezentującą Arystotelesa nazwał Simplicio. Żył kiedyś komentator dzieł Arystotelesa o tym imieniu, ale i w języku angielskim, i we włoskim kojarzy się ono z prostakiem, a i sam bohater nie grzeszył inteligencją. Zwolennik Kopernika o imieniu Salviati, sugerującym kogoś mądrego i bezpiecznego, wypowiadał mądrzejsze kwestie i wysuwał mocniejsze argumenty.

Galileusz bardzo się starał, by jego dzieło zyskało oficjalną aprobatę Kościoła. Rzymski cenzor, decydujący o tym, które książki można wydać, współczuł mu, ale wiedział, że publikacja tego dzieła ściągnie na nich kłopoty, więc odwlekał podjęcie decyzji. Galileusz pojechał do Florencji i mimo wszystko wydał książkę drukiem. Gdy przeczytali ją wysocy dostojnicy kościelni z Rzymu, nie byli zadowoleni i wezwali wiekowego już Galileusza do siebie. Ktoś odszukał kopię starego zakazu, zabraniającego Galileuszowi nauczać o systemie kopernikańskim. Po trwającym trzy miesiące „procesie” zmuszono go, aby przyznał, że jego dzieło zawiera błędy i wydał je z próżności. W podpisanym przez siebie oświadczeniu stwierdził, że Ziemia się nie porusza i znajduje w centrum wszechświata. Powstała legenda, że wkrótce po tym zeznaniu wyszeptał *Eppu si muove!* (A jednak się kręci!). Nawet jeśli tego nie powiedział, to z pewnością tak myślał, gdyż Kościół nie był w stanie zmusić go do zmiany poglądów na naturę świata.

Kościół mógł wtrącić Galileusza do więzienia, a nawet skazać na tortury, ale złożony z duchownych sąd uznał go za człowieka wyjątkowego i umieścił jedynie w areszcie domowym. Pierwszy areszt domowy w Sienie nie był zbyt ścisły – Galileusz jako dusza towarzystwa brał udział w licznych przyjęciach. Dlatego Kościół nalegał, aby uczony wrócił do

swojego domu pod Florencją, gdzie dokładnie sprawdzano, kto go odwiedza. Wkrótce potem zmarła córka Galileusza (będąca zakonnicą, podobnie jak jej siostra), z którą utrzymywał bliskie stosunki, więc ostatnie lata życia naukowiec spędził w samotności. Kontynuował jednak swoją pracę – nadal zajmował się spadającymi obiektami i siłami wywołującymi ruchy, które możemy obserwować na co dzień wokół nas. Jego wielkie dzieło *Rozmowy i dowodzenia matematyczne z zakresu dwóch nowych umiejętności* (1638) to podstawa nowożytnej fizyki. Ponownie badał przyspieszenie spadających ciał i wykorzystał matematykę, aby pokazać, że przyspieszenie można zmierzyć. Była to zapowiedź późniejszej słynnej pracy Isaaca Newtona o grawitacji. Galileusz zaprezentował też nowy sposób myślenia o torach lotu obiektów wystrzelonych w powietrze (takich jak kule armatnie) i pokazał, jak przewidzieć, gdzie spadną. Wraz z ukazaniem się tego dzieła do fizyki zostało wprowadzone pojęcie **siły** działającej na obiekt i wprawiającej go w pewien rodzaj ruchu.

Być może znane jest ci określenie buntownik bez powodu. Galileusz był jednak buntownikiem **mającym** powód. Walczył o naukę, która posługując się własną terminologią, potrafi wyjaśnić, jak funkcjonuje świat. Niektóre z jego rewolucyjnych idei zostały później odrzucone, ponieważ były błędne lub nie w pełni tłumaczyły określone zjawiska. Tak jednak wygląda postęp w nauce. Żaden z jej obszarów nie jest zamkniętą księgą zawierającą wszystkie odpowiedzi. Galileusz doskonale o tym wiedział i powinni o tym wiedzieć wszyscy nowożytni uczeni.

ROZDZIAŁ 13

Cyrkulacja krwi: Harvey

Dwa słowa „cykl” i „cyrkulacja” pochodzą od łacińskiego *circle* oznaczającego krąg. Ruch w koło, czyli cyrkulacja, to nieustanne poruszanie się i w końcu powrót do punktu startu, który niekoniecznie jest zauważalny. W naturze nie ma zbyt wielu idealnych okręgów, ale jest mnóstwo cyrkulacji. Ziemia krąży wokół Słońca. Cyrkulacja wody polega na jej parowaniu z Ziemi i ponownym spadaniu w postaci deszczu. Wiele ptaków co roku migruje na dużą odległość, a następnie powraca do miejsca narodzin, aby w następnym roku powtórzyć wędrówkę. W zasadzie cały proces narodzin, dorastania i śmierci, powtarzający się w następnym pokoleniu, jest też pewnego rodzaju cyklem.

Cyrkulacja zachodzi także w naszych ciałach. Jedną z najważniejszych jest krążenie krwi pompowanej przez serce. Przez całe życie każda kropla krwi obiega nasze ciało około pięćdziesięciu razy na godzinę. Zależy to oczywiście od tego, co robimy. Jeśli biegniesz, serce bije szybciej i czas cyrkulacji się skraca. Gdy śpisz, tętno spada, więc kropla

krwi dłużej wraca do serca. Dziś uczymy się o tym w szkole, ale nie zawsze było to takie proste i oczywiste. Krążenie krwi wykrył angielski lekarz William Harvey (1578–1657).

Ojciec Harveya był rolnikiem. Później odnosił sukcesy w handlu. Właśnie temu zajęciu poświęciło się też pięciu z sześciu braci Harveya. Jednak William wybrał karierę medyczną i po ukończeniu studiów na uniwersytecie w Cambridge w 1600 roku kontynuował naukę na uniwersytecie w Padwie, gdzie kilka lat wcześniej pracował Wesaliusz, a Galileusz zgłębiał astronomię i fizykę.

Jednym z jego wykładowców był Girolamo Fabrici d'Acquapendente (1537–1619), który kontynuował tradycję badań zapoczątkowaną na długo przed Arystotelesem. Zainspirował on Williama Harveya. Mistrz i uczeń wyciągnęli dwa ważne wnioski z nauk Arystotelesa.

Po pierwsze, organy wszystkich istot żywych, w tym ludzi, mają określoną postać czy też budowę z powodu funkcji, które pełnią. Na przykład nasze kości i mięśnie są tak połączone, abyśmy mogli biegać albo podnosić przedmioty i dopóki nic złego nam się nie stanie, nawet nie zauważamy, że działają tak, jak zostały zaprojektowane. Arystoteles wierzył również, że wszystkie części roślin i zwierząt do czegoś służą, ponieważ Stwórca nie stworzyłby żadnego nieprzydatnego elementu. Oczy są zbudowane tak, abyśmy widzieli – podobnie inne narządy, takie jak żołądek, wątroba, płuca i serce. Każdy organ ma specyficzną budowę, aby mógł pełnić przewidzianą dla niego funkcję. Dla lekarzy było oczywiste, że kości są twarde i zachowują swój kształt, ponieważ muszą podtrzymywać ciało podczas marszu lub biegu. Mięśnie są miękkie i elastyczne, gdyż ich skurcze i rozkurcze pomagają nam się poruszać. Nie było jednak równie oczywiste, że za pomocą tego samego sposobu rozumowania da

się wyjaśnić funkcje serca i jego związek z krwią i naczyniami krwionośnymi.

Po drugie, Arystoteles upierał się, że serce i krew odgrywają zasadniczą rolę w naszym życiu, od czasu gdy zaobserwował bijące maleńkie serce zarodka kurczaka w jajku. Serce to było pierwszym przejawem życia. Arystoteles przekonał Harveya, że jest ono głównym organem życiowym. Serce i krążenie krwi stały się motywem przewodnim medycznej kariery Harveya.

Jego nauczyciel, Fabrici, również odkrył coś, co stało się istotne dla Harveya. Stwierdził, że wiele dużych żył ma zastawki. Zawsze są one rozmieszczone tak, aby krew mogła płynąć tylko w jednym kierunku – w stronę serca. Fabrici sądził, że zapobiegają one spływaniu krwi do nóg albo jej zbyt gwałtownemu odpływowi z mózgu. Harvey wykorzystał wszystkie te wskazówki, gdy po ukończeniu studiów w Padwie wrócił do Anglii.

Harvey odnosił coraz większe sukcesy zawodowe. Rozpoczął praktykę lekarską w Londynie, dostał posadę w szpitalu świętego Bartłomieja i poproszono go o prowadzenie wykładów z anatomii i fizjologii dla chirurgów. Był również lekarzem przybocznym dwóch angielskich królów: Jakuba I i jego syna Karola I. Powiązania z Karolem I nie pomogły mu wprawdzie w tym okresie, zwłaszcza gdy król został usunięty z tronu przez grupę protestantów zwanych purytanami. Pewnego razu dom Harveya napadnięto i podpalono. Wraz z nim spłonęło wiele rękopisów, które lekarz zamierzał opublikować. Była to ogromna strata dla nauki, ponieważ Harvey prowadził badania nad wieloma zagadnieniami, między innymi oddychaniem, mięśniami i kształtowaniem się ciał zwierząt z zapłodnionych jaj. Król Karol I pozwolił nawet Harveyowi wykorzystać niektóre królewskie zwierzęta do eksperymentów.

Harveya zawsze fascynowała krew. Uważał, że ma duże znaczenie dla istot żywych. On również rozbił kilka jaj i zobaczył pierwsze oznaki życia w postaci rytmicznie pulsującej odrobiny krwi. Podobnie było ze zbadanymi przez niego embrionami innych zwierząt (rozwijającymi się w jaju lub macicy matki). Fascynowało go także serce, od dawna wiązane z krwią. Wszyscy wiedzieli, że gdy przestaje ono bić, to człowiek lub zwierzę umiera. Zatem krew była istotna już na początku życia, które kończyło się, gdy milkły uderzenia serca.

Nasze serce pracuje nawet wtedy, gdy o tym nie myślimy. Czasami jednak możemy poczuć jego bicie, gdy na przykład mocno się zdenerwujemy lub przestraszymy albo wykonujemy cięższe ćwiczenia fizyczne. Czujemy wtedy, jak wali nam w piersiach: dum-dum, dum-dum, dum-dum. Harvey chciał zrozumieć „ruchy" serca, czyli co dokładnie się dzieje przy każdym jego uderzeniu. Serce kurczy się, a następnie rozkurcza. Przeprowadził sekcje wielu żywych zwierząt, aby przypatrywać się biciu ich serc, zwłaszcza węży i innych zwierząt zimnokrwistych (czyli tych, które nie potrafią regulować temperatury własnego ciała). Ich serca biją znacznie wolniej od naszych, więc łatwiej mu było prowadzić obserwacje. Zobaczył, jak przy każdym uderzeniu zastawki w sercu otwierają się i zamykają w określonej kolejności. Podczas skurczu zastawki między przedsionkami a komorami serca zamykały się, a te między sercem a naczyniami krwionośnymi otwierały się. Gdy serce się rozkurczało, było odwrotnie: wewnętrzne zastawki otwierały się, a te między sercem a naczyniami krwionośnymi (tętnicą płucną i aortą) zamykały się. Harvey uzmysłowił sobie, że zastawki serca działają podobnie jak te w żyłach, które odkrył jego nauczyciel Fabrici, a ich zadaniem jest utrzymać przepływ krwi w jednym kierunku.

Harvey przeprowadził kilka doświadczeń, aby pokazać innym, na czym polega krążenie krwi. Jedno z nich było bardzo proste. Owinął ramię bandażem (zwanym opaską uciskową). Gdy bandaż był założony bardzo ciasno, krew nie mogła dopłynąć do ręki i dłoń robiła się bardzo blada. Gdy Harvey rozluźniał nieco opaskę, krew dopływała do kończyny, ale nie mogła wrócić do serca i ręka robiła się mocno czerwona. W ten sposób pokazał, że krew płynie do ręki pod pewnym ciśnieniem i nie pokona ciasno zawiązanego bandaża. Po poluzowaniu opaski uciskowej krew płynęła tętnicami, ale nie mogła wrócić żyłami.

William Harvey obejrzał tyle serc i tak intensywnie myślał o ich pracy, że zrewolucjonizował poglądy o działaniu tego narządu. Ustalił, że w bardzo krótkim czasie przez serce przepływa więcej krwi, niż znajduje się w całym ciele. Niemożliwe byłoby wytworzenie wystarczającej ilości nowej krwi do każdego uderzenia serca. Poza tym ciało by jej nie pomieściło. Zatem przy każdym uderzeniu serca krew musiała z niego wypływać, płynąć tętnicami, a następnie żyłami i wracać do serca, aby rozpocząć nowe okrążenie.

„Prywatnie zaczynam sądzić, że krew porusza się jakby wkoło”. Napisał te słowa po łacinie w 1628 roku w krótkiej książce zatytułowanej *De motu cordis* (*O ruchu serca*). Można odnieść wrażenie, że zaczął tworzyć dokumentację o skurczach i rozkurczach serca, a skończył na odkryciu, czemu one służą. Ustalił, że krew jest pompowana z prawej komory serca do płuc, a z lewej komory do największej tętnicy, zwanej aortą. Z aorty krew trafia do mniejszych, odgałęziających się od niej tętnic. Następnie przepływa do żył, w których znajdują się zastawki gwarantujące, że będzie płynąć we właściwym kierunku. Największą żyłą, zwaną żyłą główną, krew wraca do prawego przedsionka serca.

Harvey, tak jak Wesaliusz, zawsze twierdził, że chciał drogą samodzielnych badań poznać budowę i funkcjonowanie ciała, a nie dowiadywać się tego z książek napisanych przez innych. W odróżnieniu od Wesaliusza pracował głównie na żywych zwierzętach, nie ludzkich zwłokach. Nie zamierzał kwestionować dwóch tysięcy lat nauczania o sercu i krwi, ale wiedział, że jego odkrycia wywołają kontrowersje, ponieważ dowodziły, że teoria Galena o sercu i krwi była błędna. Bronił swoich koncepcji przed krytyką niektórych ludzi, zwłaszcza zwolenników Galena, którzy uznali jego pomysły za zbyt rewolucyjne. Jednak w teorii Harveya była jedna poważna luka. Nie potrafił odpowiedzieć na istotne pytanie: jak krew przenika z najmniejszych tętnic do najmniejszych żył, aby rozpocząć drogę powrotną do serca.

Odkrył to dopiero jeden z uczniów Harveya, Marcello Malpighi (1628–1694), gdy Harvey już umierał. Malpighi wprawnie posługiwał się mikroskopem, znanym już co prawda od lat dziewięćdziesiątych XVI wieku, ale wówczas udoskonalonym. Stosując większe powiększenie niż ktokolwiek wcześniej, przyjrzał się delikatnej strukturze płuc, nerek i innych organów i odkrył drobne kanaliki łączące najmniejsze tętnice i żyły, czyli naczynia włosowate. „Cykl” Harveya był więc kompletny.

Poprzez te przełomowe prace Harvey pokazał, co można odkryć, prowadząc wnikliwie eksperymenty. Jego koncepcje zyskały szerszą akceptację, a Harvey stał się ojcem biologii i medycyny doświadczalnej. To zachęciło innych do samodzielnego badania różnych funkcji organizmów, na przykład tego, co się dzieje w płucach podczas oddychania lub w żołądku podczas trawienia. William Harvey, podobnie jak wcześniej Wesaliusz i Galileusz, pomógł ludziom uświadomić sobie, że wiedza naukowa może się rozwijać i dzięki temu możemy dowiedzieć się o naturze więcej niż równie

inteligentni ludzie, którzy żyli tysiąc (czy choćby pięćdziesiąt) lat przed nami.

ROZDZIAŁ 14

Wiedza to potęga: Bacon i Kartezjusz

W stuleciu między Kopernikiem a Galileuszem nauka wywróciła świat do góry nogami. Ziemia przestała być centrum wszechświata, a nowe odkrycia z dziedziny anatomii, fizjologii, chemii i fizyki przypomniały ludziom, że starożytni nie wiedzieli wszystkiego. O wiele więcej czekało jeszcze na odkrycie.

Ludzie zaczęli myśleć o samej nauce. W jaki sposób najlepiej się nią zajmować? Skąd można mieć pewność, że nowe odkrycia przekazują prawdę? Jak można wykorzystać naukę, aby poprawić komfort naszego życia oraz zapewnić ludziom zdrowie i szczęście? Dwóch myślicieli poświęciło tym zagadnieniom szczególnie wiele rozważań – jeden był angielskim prawnikiem i politykiem, drugi – francuskim filozofem.

Ten pierwszy to Francis Bacon (1561–1626). Jego ojciec, Nicolas Bacon, zajmował wysokie urzędnicze stanowisko na

dworze królowej Elżbiety I. Wiedział, jak ważna jest edukacja, więc posłał syna na uniwersytet w Cambridge. Francis również służył królowej Elżbiecie I, a po jej śmierci także królowi Jakubowi I. Był znawcą angielskiego prawa, wziął udział w kilku ważnych procesach sądowych, a gdy monarcha mianował go Lordem Kanclerzem, został jednym z najważniejszych prawników swoich czasów. Był też członkiem parlamentu.

Bacon z dużym entuzjazmem zajmował się nauką. Poświęcił wiele czasu na doświadczenia chemiczne i obserwowanie wszelkiego rodzaju zadziwiających rzeczy w naturze – od flory i fauny po magnetyzm i pogodę. Znacznie ważniejsze od któregokolwiek z dokonanych przez niego odkryć przyrodniczych były jego zgrabne i przekonujące argumenty za tym, że warto i należy zajmować się nauką. Skłonił ludzi do tego, by ją cenili. „Wiedza to potęga”, powiedział, a nauka to najlepszy sposób, na to aby ją posiąść. Zachęcał Elżbietę I i Jakuba I, aby przeznaczali publiczne pieniądze na budowę laboratoriów i tworzenie miejsc pracy dla uczonych. Jego zdaniem naukowcy powinni organizować się w społeczności, czyli akademie, aby mogli się spotykać, wymieniać poglądami i dzielić wynikami obserwacji. Bacon twierdził, że nauka to środek do zrozumienia natury, a jeśli ją zrozumiemy, będziemy w stanie ją kontrolować.

Bacon jasno napisał, co najlepiej przysłuży się postępowi nauki. Uczeni muszą się upewnić, że słowa, których używają, są precyzyjne i zrozumiałe dla innych. Do badań powinni podchodzić z otwartym umysłem, zamiast próbować dowieść czegoś, co im się wydaje słuszne i pewne. Przede wszystkim jednak muszą powtarzać eksperymenty i obserwacje, aby uzyskać wiarygodność wyników swojej pracy. Taka metoda badawcza to **indukcja**. Na przykład chemik, wielokrotnie licząc, ważąc i mieszając substancje, zaczyna

rozumieć, co się dzieje. W miarę, jak dokonuje coraz większej liczby obserwacji, czyli indukcji, nabiera pewności, co się stanie. Na podstawie takiego rozumowania indukcyjnego uczeni mogli dokonywać uogólnień, które stawały się podstawą do sformułowania praw rządzących przyrodą. Koncepcje Bacona inspirowały naukowców wielu kolejnych pokoleń i do dziś są dla nich natchnieniem.

Francuski filozof Kartezjusz (1596–1650) wywarł równie istotny wpływ na naukę, ale w inny sposób. Gruntownie przemyślał dokonania Harveya i Galileusza. Podobnie jak Galileusz był katolikiem, a mimo to sądził, że religia nie powinna ingerować w badanie świata przyrody. Tak jak Harvey badał ciała ludzi i zwierząt oraz wyjaśniał ich funkcjonowanie w sposób daleko wykraczający poza to, czego nauczał Galen. Kartezjusz, jeszcze usilniej niż Harvey i Galileusz, próbował stworzyć całkiem nowe podwaliny nauki i filozofii. Choć dzisiaj pamiętamy go głównie jako filozofa, przede wszystkim był czynnym naukowcem i to w większym stopniu niż Bacon.

Kartezjusz urodził się w La Haye en Touraine. Jako bystre dziecko został posłany do słynnej szkoły La Flèche w regionie Loire, z którego pochodzą wyśmienite francuskie wina. W La Flèche usłyszał o odkryciach Galileusza dokonanych za pomocą teleskopu, o umieszczeniu Słońca w centrum wszechświata przez Kopernika i najnowszych osiągnięciach matematyków. Ukończył prawo na uniwersytecie w Poitiers, a następnie zrobił coś bardzo zaskakującego – wstąpił na ochotnika do armii protestanckiej. Przez całe dorosłe życie Kartezjusza w Europie szalała wojna trzydziestoletnia i przez prawie dziewięć lat brał w niej udział. Nigdy jednak nie walczył. Natomiast jego umiejętność praktycznego zastosowania matematyki (przewidywania, gdzie spadnie pocisk) mogła się przydać żołnierzom. Przez te lata był przy-

dzielany zarówno do wojsk protestantów, jak i katolików. Wydaje się, że zawsze znajdował się w miejscach, w których dochodziło do ważnych wydarzeń politycznych lub militarnych. Nie wiemy, co robił ani skąd brał pieniądze, aby tyle podróżować. Być może był szpiegiem. Jeśli tak, zapewne działał w interesie katolików, wobec których zawsze pozostał lojalny.

Na początku swoich przygód, 10 listopada 1619 roku, w ogrzanym piecykiem pokoju w półśnie doszedł do dwóch wniosków. Po pierwsze, jeśli kiedykolwiek miałby zdobyć prawdziwą wiedzę, musiałby dokonać tego samodzielnie. Do niczego nie przydałyby mu się nauki Arystotelesa i innych autorytetów. Musiałby zacząć od początku. Po drugie, jedynym sposobem, by zacząć od nowa, było poddawanie wszystkiego w wątpliwość! Tej samej nocy miał trzy sny, które potraktował jako potwierdzenie wcześniejszego pomysłu. Wtedy jeszcze niczego nie opublikował, a jego przygody wojskowe dopiero się zaczynały. Niewątpliwie jednak tego dnia (i tej nocy) wstąpił na ścieżkę opisywania wszechświata i wszystkiego, co się w nim znajduje, a także reguł, które mogłyby pomóc innym w zdobywaniu niepodważalnej wiedzy.

Wątpienie we wszystko oznaczało, że niczego nie mógł przyjąć za pewnik. Następnie krok po kroku, kierując się własnym wyczuciem, mógł akceptować tylko te rzeczy, których był absolutnie pewien. Czego jednak mógł być pewien? Przede wszystkim jednego – że to **on** zaplanował ten naukowy i filozoficzny projekt badawczy. Myślał o tym, jak ma dojść do niezbitej wiedzy. Upraszczając sprawę – po prostu myślał! Napisał po łacinie *Cogito ergo sum!* (Myślę, więc jestem!). Istnieję, ponieważ pomyślałem te myśli!

To proste stwierdzenie stało się dla niego punktem wyjścia do dalszych rozważań. Wszystko pięknie – moglibyśmy po-

wiedzieć – ale co dalej? Dla Kartezjusza miało to jeden bezpośredni i długofalowy skutek. Stwierdził: istnieję, więc myślę, ale potrafię sobie wyobrazić, że mógłbym myśleć, nie mając ciała. Z kolei, gdybym miał ciało i nie mógł myśleć, nie wiedziałbym o tym. Zatem moje ciało i część, która myśli (umysł albo dusza), muszą być osobne i różne. Były to podstawy **dualizmu**. Według tej teorii wszechświat jest zbudowany z dwóch całkiem różnych rodzajów substancji: **materii** (na przykład ludzkie ciała, ale także krzesła, kamienie, planety, koty i psy) oraz **ducha** (ludzka dusza lub umysł). Kartezjusz twierdził więc, że nasze umysły, poprzez które wiemy, że istniejemy, zajmują specjalne miejsce we wszechświecie.

Już na długo przed Kartezjuszem, a jeszcze i potem, ludzie zdawali sobie sprawę z tego, że są wyjątkowym gatunkiem. Potrafimy robić rzeczy, których nie mogą robić żadne zwierzęta: czytać i pisać, nadawać sens złożoności świata oraz budować odrzutowce i bomby atomowe. Dostrzeżenie tej wyjątkowości nie jest niczym niezwykłym. Zadziwiające było to, co filozof – po oddzieleniu umysłu od ciała – zrobił z resztą świata – jego materialną stroną. Powiedział, że świat jest zbudowany z materii i umysłu, a przedmiotem badań nauki jest materia. To oznaczało, że materialną, niemyślącą część naszego istnienia da się opisać za pomocą prostych, fizycznych terminów. Ponadto wynikało z tego, że wszystkie rośliny i zwierzęta niemające duszy da się zredukować do materii, z której są zbudowane. Zatem drzewa i kwiaty, ryby i słonie to tylko mniej lub bardziej skomplikowane maszyny. Według Kartezjusza są to tylko byty materialne, które można w całości zrozumieć.

Kartezjusz słyszał o **automata** – mechanicznych figurach budowanych tak, aby mogły się poruszać i wykonywać pewne ściśle określone czynności. Możemy je nazwać robotami.

Na przykład w wielu XVII montowano w wieżowych zegarach mechaniczne figurki, które wychodziły o pełnej godzinie, aby uderzyć w gong. W tamtych czasach zapanowała na nie moda, a niektóre z nich działają do dziś. Ludzie zastanawiali się: skoro potrafimy zbudować takie delikatne figury, zdolne poruszać się i naśladować ludzi lub zwierzęta, to być może lepsi mechanicy byliby w stanie pójść krok dalej i skonstruować na przykład psa, który by jadł, szczekał i poruszał się. Kartezjusz nie miał ochoty budować takich zabawek, chociaż jego zdaniem rośliny i zwierzęta były po prostu bardzo skomplikowanymi automatami, pozbawionymi prawdziwych uczuć i zdolnymi jedynie reagować na to, co się dzieje wokół nich. Te maszyny składały się z materii, którą uczeni mogli opisać w kategoriach mechanicznych i chemicznych praw przyrody. Kartezjusz czytał pracę Williama Harveya o „mechanicznym" działaniu serca i krążeniu krwi i był przekonany, że potwierdza ona jego teorię. (O wyjaśnieniach Kartezjusza dotyczących tego, co się dzieje, gdy krew dociera do serca, i dlaczego krąży, zapomniano). Kartezjusz żywił gorącą nadzieję, że takie koncepcje pozwolą znaleźć odpowiedzi na pytania dotyczące zdrowia i chorób, a w końcu dostarczą ludziom wiedzy o tym, jak mogą żyć, jeśli nie wiecznie, to przynamniej bardzo długo.

Gdy Kartezjusz wykazał, że wszechświat jest zbudowany z dwóch substancji – materii i ducha, zajął się odpowiedzią na pytanie, jak ludzki umysł i ciało są ze sobą połączone. Myślał o tym, jak mogą ze sobą współistnieć, skoro materia jest fizyczną substancją i zajmuje przestrzeń, a umysł wręcz przeciwnie – nie ma określonej lokalizacji ani materialnej bazy. Od czasów Hipokratesa powszechnie wiązano zdolność myślenia z mózgiem. Uderzenie w głowę mogło spowodować utratę przytomności, a wielu lekarzy zaobserwowało, że uszkodzenia i choroby mózgu powodują zmiany

funkcji umysłowych. W pewnym momencie Kartezjusz zdawał się myśleć, że ludzka dusza mieści się w gruczole znajdującym się pośrodku mózgu, ale wiedział, że zgodnie z logiką teorii, którą stworzył, materia i umysł nigdy nie mogły fizycznie na siebie oddziaływać. Taki model struktury istot ludzkich został później nazwany „duchem w maszynie", ponieważ nasze ciała miały być niczym maszyny w jakiś sposób sterowane przez umysł czy też duszę. Mimo że koty i psy nie mają własnych „duchów", potrafią okazywać zdolności umysłowe podobne do ludzkich (np. strach lub złość), a psy – także miłość właścicielom. (Koty są panami samych siebie).

Ciekawy świata Kartezjusz myślał o wielu różnych jego aspektach, co nie powinno dziwić w przypadku kogoś, kto napisał dzieło pod banalnie brzmiącym tytułem *Le monde* (*Świat*). Przyjął kopernikański model związków między Ziemią a Słońcem, ale ostrożniej niż Galileusz ujawniał swoje poglądy, aby nie urazić władz kościelnych. Pisał również o ruchu, spadających obiektach i innych problemach interesujących kiedyś Galileusza. Niestety, mimo że miał pewną liczbę zwolenników, jego koncepcje dotyczące działania wszechświata nie mogły konkurować z modelami takich geniuszy jak Galileusz i Isaac Newton. Dziś już niewielu pamięta o jego fizycznym spojrzeniu na świat.

Mimo że w dziedzinie fizyki Kartezjusz przegrał z mądrzejszymi od siebie, niezależnie od tego, czy wiesz o tym, czy nie, podążasz jego śladami za każdym razem, gdy rozwiązujesz zadania z algebry i geometrii. To on wpadł na błyskotliwy pomysł stosowania w algebrze oznaczeń a, b, c na wiadome oraz x, y, z na niewiadome. Gdy masz rozwiązać równanie $x = a + b^2$, stosujesz zapis wprowadzony właśnie przez Kartezjusza. Gdy rysujesz wykres z osią poziomą i pionową, również korzystasz z jego pomysłu. Kartezjusz

rozwiązał wiele problemów algebraicznych i geometrycznych, opisując je w książce, którą opublikował wraz z dziełem o świecie.

Kartezjusz, oddzielając tak wyraźnie ciało od umysłu i świat materialny od niematerialnego, podkreślił, jak ważna jest materia dla nauki. Astronomia, fizyka, chemia i biologia zajmują się materią. I nawet jeśli jego koncepcja o zwierzęcych maszynach wydaje się nieco naciągana, biolodzy i lekarze wciąż próbują zrozumieć, jak funkcjonują rośliny i zwierzęta poprzez pryzmat ich materialnych części. Niestety idea Kartezjusza mówiąca o tym, że medycyna wkrótce wskaże, jak wydłużyć ludzkie życie, była dla filozofa przedwczesna. Kartezjusz był dość zdrowy do czasu, aż przyjął zaproszenie do Skandynawii, aby zapoznać szwedzką królową z filozofią i nauką o świecie. Monarchini wstawała o świcie i nalegała, aby uczony z samego rana udzielał jej lekcji. Filozof natomiast nienawidził zimna. Nie przeżył nawet pierwszej zimy w Szwecji. Szybko dopadła go infekcja i zmarł w lutym 1650 roku, siedem tygodni przed swoimi pięćdziesiątymi czwartymi urodzinami. Smutny koniec jak na kogoś, kto wierzył, że może dożyć co najmniej stu lat.

Bacon i Kartezjusz wprowadzili wiele szczytnych idei do nauki. Ich wizje rozwoju wiedzy różniły się, ale obaj byli głęboko przekonani, że postęp nastąpi. Według Bacona nauka była wspólnym, finansowanym przez państwo przedsięwzięciem. Kartezjusz wolał samodzielnie rozwiązywać problemy. Obaj pragnęli, aby ludzie zaczęli rozwijać swoje koncepcje. Obaj też wierzyli, że nauka to wyjątkowe zajęcie, lepsze od krzątaniny codziennego życia. Zasługuje na takie wyróżnienie, ponieważ zwiększa zasób wiedzy człowieka i zdolność rozumienia świata. A dzięki temu rozumieniu można poprawić jakość ludzkiego życia i społeczny dobrobyt.

ROZDZIAŁ 15

Nowa chemia

W zestawach małego chemika są zwykle papierki lakmusowe. Te paski specjalnego papieru pokazują, czy roztwór zawiera kwas czy zasadę. Jeśli wymieszasz trochę octu winnego z wodą (przez co zrobi się kwaśna) i zanurzysz w roztworze niebieski papierek, zmieni on kolor na czerwony. Jeżeli zamiast octu użyjesz wybielacza (który jest zasadowy) i zanurzysz w nim czerwony papierek, zmieni on kolor na niebieski. Gdy następnym razem sięgniesz po papierek lakmusowy, pomyśl o Robercie Boyle'u, który wymyślił ten test ponad trzysta lat temu.

Robert Boyle (1627–1691) urodził się w licznej arystokratycznej rodzinie w Irlandii. Był najmłodszym z rodzeństwa i nigdy nie musiał się martwić o pieniądze. Spędził kilka lat w Eton College, elitarnej angielskiej szkole, a później podróżował po Europie, gdzie miał kolejno kilku prywatnych nauczycieli. W przeciwieństwie do większości bogaczy Boyle zawsze był hojny i przekazywał duże datki na cele dobroczynne. Zapłacił za przekład Biblii na język amerykańskich

Indian. Religia i nauka odgrywały w jego życiu jednakowo ważne role.

Wrócił do Anglii, gdzie trwała wojna domowa. Część jego rodziny poparła króla Karola I, a część parlamentarzystów, którzy chcieli obalić monarchię i wprowadzić republikę. Siostra przekonała Boyle'a, aby przyłączył się do parlamentarzystów. Dzięki niej poznał Samuela Hartliba, pełnego entuzjazmu reformatora społecznego, politycznego i naukowego. Hartlib, podobnie jak Francis Bacon, wierzył, że nauka może poprawić jakość ludzkiego życia, i przekonał młodego Boyle'a do studiowania rolnictwa i medycyny, które miały służyć ludzkości. Boyle zaczął od nauk medycznych i szukania lekarstw na różne choroby, co sprawiło, że przez całe życie fascynował się chemią.

Niektórzy pobożni ludzie boją się, że nowe idee mogą podważyć wiarę, więc unikają z nimi kontaktu i chronią przed tym swoje dzieci. Robert Boyle do nich nie należał. Jego wiara była tak silna, że czytał wszystko, co było w jakikolwiek sposób związane z jego szerokimi zainteresowaniami naukowymi. W młodości Boyle'a Kartezjusz i Galileusz uchodzili za postacie kontrowersyjne, ale uważnie przestudiował ich prace. W 1642 roku we Florencji, czyli w tym samym roku i w tym samym miejscu, w którym zmarł Galileusz, przeczytał jego *Gwiezdnego posłańca*. Wykorzystał spostrzeżenia obu swoich poprzedników w swojej pracy. Interesowali go także starożytni atomiści (patrz rozdział 3), choć nie był do końca przekonany, czy wszechświat składa się jedynie z „atomów i próżni". Wiedział, że istnieją pewne podstawowe jednostki materii w kosmosie, które nazwał **cząsteczkami**. Mógł jednak prowadzić swoje badania bez ateistycznych konotacji, jakie miał atomizm starożytnych Greków.

Nie satysfakcjonowała go także teoria czterech żywiołów Arystotelesa: powietrza, ziemi, ognia i wody. Doświadczalnie wykazał, że jest błędna. Spalił kawałek świeżego drewna i dowiódł, że ulatniający się przy tym dym wcale nie jest powietrzem. Ponadto płyn wydzielający się pod koniec spalania nie był zwykłą wodą. Płomień różnił się w zależności od spalanego przedmiotu, nie był to więc czysty ogień, a pozostający ze spalania popiół nie był ziemią. Dokładnie analizując wyniki tego prostego eksperymentu, pokazał, że coś tak pospolitego jak drewno nie jest zbudowane z powietrza, ziemi, ognia i wody. Zwrócił też uwagę, że niektórych substancji, między innymi złota, nie da się rozłożyć na prostsze składniki. Podgrzane złoto topiło się i płynęło, ale nie zmieniało postaci jak palone drewno. Po ostygnięciu wracało do pierwotnej formy. Boyle zorientował się, że przedmioty, które są w naszym otoczeniu, takie jak drewniane stoły i krzesła oraz wełniane suknie i kapelusze, zostały zrobione z różnych surowców, ale nie da się ich zredukować do czterech greckich żywiołów albo trzech elementów Paracelsusa. Niektórzy sądzą, że Boyle zaproponował nowoczesną definicję pierwiastka chemicznego. Z pewnością był blisko jej sformułowania, gdy opisywał pierwiastki jako rzeczy, „które nie są zbudowane z innych ciał ani czegoś innego”. Nie poszedł jednak dalej ani nie zastosował takiej definicji w swoich doświadczeniach chemicznych.

Z kolei wprowadzone przez niego pojęcie cząsteczki jako jednostki materii doskonale się nadawało na potrzeby jego eksperymentów. Był niestrudzonym badaczem: spędzał długie godziny w prywatnym laboratorium, sam lub z przyjaciółmi, i z detalami opisywał swoje eksperymenty w książkach. Między innymi ta jego dbałość o szczegóły zapewniła mu wyjątkowe miejsce w historii nauki. On i jego przyjaciele pragnęli, aby nauka była jawna i publicznie dostępna,

aby inni mogli korzystać ze zdobytej przez nich wiedzy. Nie wystarczało już pochwalić się, że się poznało jakiś głęboko ukryty sekret natury, jak zrobił to Paracelsus. Uczony musiał umieć osobiście zademonstrować innym odkryty fakt albo go opisać.

Stawianie na jawność było jedną z wytycznych w naukowych kręgach, w których obracał się Boyle. Pierwszym stowarzyszeniem naukowym była nieformalna grupa z Oksfordu, gdzie Boyle mieszkał w latach pięćdziesiątych XVII wieku. Gdy większość członków grupy przeprowadziła się do Londynu, dołączyła do innych naukowców, a w 1662 roku założyła Towarzystwo Królewskie w Londynie, które do dziś jest jednym z wiodących towarzystw naukowych na świecie. Naukowcy wiedzieli, że robią coś, do czego Francis Bacon nawoływał pół wieku wcześniej. Od początku Boyle był ważną postacią w tym klubie oddanym poszerzaniu wiedzy. Od początku zrzeszeni w nim członkowie chcieli, aby nowe fakty naukowe, które odkryją i omówią na swoich zebraniach, były przydatne w praktyce.

Jednym z ulubionych współpracowników Boyle'a był nieco młodszy od niego Robert Hooke (1635–1702). Hooke był nawet mądrzejszy od Boyle'a, ale w odróżnieniu od niego pochodził z ubogiej rodziny. Zawsze musiał zarabiać na życie, korzystając ze swojej inteligencji. Towarzystwo Królewskie zatrudniło go, aby przeprowadzał doświadczenia na zebraniach członków. Miał talent do konstruowania i obsługi różnego rodzaju sprzętu naukowego. Wymyślił wiele eksperymentów, np. jak zmierzyć prędkość dźwięku albo zbadać, co się stanie, gdy się przetoczy krew jednego psa drugiemu. W niektórych przypadkach pies-biorca miał więcej energii, co zachęcało do prowadzenia doświadczeń na ludziach. Członkowie Towarzystwa Królewskiego przetoczyli człowiekowi krew owcy, ale to nie zadziałało. W Paryżu również

zmarła osoba, której zrobiono transfuzję krwi, więc zrezygnowano z dalszych tego typu prób. Zadaniem Hooke'a na cotygodniowych zebraniach członków Towarzystwa Królewskiego było przygotowanie dwóch lub trzech mniej niebezpiecznych eksperymentów, które stanowiły dla nich rozrywkę i inspirację.

Hooke był jednym z pierwszych uczonych z powodzeniem używających mikroskopu. Za jego pomocą poznał nowy świat niewidzialny gołym okiem. Odkrył nowe struktury roślin, zwierząt i innych obiektów, których nie da się dostrzec bez dużego powiększenia. Członkowie Towarzystwa Królewskiego uwielbiali na zebraniach patrzeć przez mikroskop na pokazy Hooke'a. Otrzymali też wiele informacji od posługującego się tym przyrządem słynnego holenderskiego badacza Antoniego van Leeuwenhoeka (1632–1723). Leeuwenhoek zajmował się handlem odzieżą, a w wolnych chwilach szlifował bardzo małe soczewki, które dawały ponad dwustukrotne powiększenie. Musiał przygotowywać nowe soczewki do każdej obserwacji i w ciągu swego długiego życia zrobił ich kilkaset. Każdą soczewkę umieszczał w metalowym uchwycie, a pod nią kładł badany obiekt. Zaobserwował mikroorganizmy w wodzie z sadzawki, bakterie w nalocie zeskrobanym ze swoich zębów i wiele innych zadziwiających rzeczy. Hooke również wierzył, że mikroskop może zbliżyć obserwatora do natury. Sensację wywołały ilustracje w jego książce *Micrographia* (*Mikrografia*), którą opublikował w 1665 roku (gdy Londyn dosięgła plaga dżumy). Wiele z tych rysunków było dosyć sławnych w tamtych czasach, ale nam mogą wydać się dziwne, ponieważ ukazują powiększone owady, takie jak muchy i wszy. Hooke opisał w książce także wyniki swoich obserwacji i przypuszczenia dotyczące budowy i funkcjonowania innych rzeczy, które zobaczył przez mikroskop. Jeden z rysunków przedstawiał cien-

ką warstwę korka z drzewa korkowego – materiału używanego do wyrobu korków do zamykania butelek wina. Niewielkie kanciaste struktury korka nazwał „komórkami”. Nie były to te same struktury, które dziś nazywamy komórkami, ale nazwa się przyjęła.

Ulubionym urządzeniem mechanicznym Boyle’a i Hooke’a była pompa powietrza. Działała w ten sam sposób, jak pompki, których używamy do pompowania opon roweru albo piłek. Miała dużą komorę centralną z jedną szczelną armaturą otwieraną na górze i drugą na dole, gdzie znajdował się zawór, przez który można było podawać lub wypuszczać gazy. Nie wyglądała imponująco, ale pomogła rozwiązać jedną poważną zagadkę naukową tamtych czasów. Problem polegał na tym, czy da się uzyskać próżnię, czyli kompletnie pustą przestrzeń niezawierającą nawet powietrza. Kartezjusz uważał, że osiągnięcie próżni jest niemożliwe (wówczas mawiano „Natura boi się próżni”, co odzwierciedlało tę koncepcję). Jeśli jednak, jak twierdził Boyle, materia składa się z oddzielnych cząsteczek w różnych formach, to między nimi musi być jakaś przestrzeń. Argumentował, że gdy podgrzejemy np. wodę, tak aby zmieniła się w gaz i ulotniła, cząsteczki cieczy utworzą parę wodną. Jednak zajmie ona większą objętość niż woda w stanie ciekłym. Po licznych eksperymentach związanych z podgrzewaniem płynów Boyle przekonał się, że wszystkie gazy zachowują się mniej więcej tak samo, gdy są w pompie powietrza. Boyle i Hooke doszli do wniosku (znanego dziś jako prawo Boyle’a), że w stałej temperaturze objętość zajmowana przez gaz pozostaje w ścisłej zależności od ciśnienia, któremu gaz jest poddawany. Mówimy, że objętość gazu jest odwrotnie proporcjonalna do ciśnienia zewnętrznego. Jeśli zatem zwiększymy ciśnienie, gaz zajmie mniejszą objętość, ponieważ zostanie ściśnięty w dostępnej mu przestrzeni. (Jeżeli

zwiększymy temperaturę, gaz się rozpręży i będziemy mieć do czynienia z innym ciśnieniem, ale podstawowa zasada pozostanie niezmienna). Prawo Boyle'a przyczyniło się do skonstruowania silnika parowego, więc warto je zapamiętać. Wspomnimy o nim, gdy będziemy omawiać wiek pary.

Boyle i Hooke użyli pompy powietrza do zbadania właściwości wielu gazów, a także powietrza, którym oddychamy. W starożytności powietrze uważano za jeden z żywiołów, ale dla wielu naukowców z XVII wieku stało się jasne, że powietrze, które nas otacza i którym oddychamy, nie jest prostą substancją. Było niezbędne do oddychania, ponieważ wciągamy je do płuc. Ale co jeszcze robiło? Boyle'a i Hooke'a interesowało to, co się dzieje, gdy płonie kawałek drewna lub węgla. Zastanawiali się, dlaczego krew była ciemna, zanim dotarła do płuc, i jasnoczerwona, gdy je opuszczała. Hooke powiązał te dwie sprawy ze sobą i zasugerował, że w płucach zachodzi specjalny rodzaj spalania, a substancją łączącą oddychanie ze spalaniem jest powietrze. Hooke w zasadzie na tym poprzestał, ale problemy związane ze spalaniem, oddychaniem i właściwościami powietrza intrygowały uczonych przez ponad sto lat po śmierci Boyle'a i Hooke'a, więc powtarzali ich doświadczenia i wymyślali nowe.

Nie było praktycznie takiej dziedziny nauki, której Robert Hooke nie poświęciłby swojej uwagi. Wymyślił zegar napędzany przez zestaw sprężyn (co bardzo ułatwiło odmierzanie czasu). Zastanawiał się nad pochodzeniem skamielin. Badał naturę światła. Miał też wiele ciekawego do powiedzenia na temat problemu, z którym zetknął się już wcześniej (został on dokładniej omówiony w następnym rozdziale), czyli fizyki ruchu i sił. Hooke pracował nad nim w tym samym czasie co Newton. Wszyscy słyszeli o sir Isaacu

Newtonie, który sam się o to postarał (jak się przekonamy w dalszej części książki), ale mało kto zna pana Hooke’a.

ROZDZIAŁ 16

Rzucone do góry: Newton

Wątpię, czy kiedykolwiek uda ci się spotkać kogoś tak mądrego jak Isaac Newton. Ja nigdy nikogo takiego nie poznałem. Z pewnością jednak zetkniesz się z osobami równie nieuprzejmymi co on. Newton nie znosił większości ludzi, łatwo wpadał w furię i uważał, że prawie wszyscy na niego czyhali. Był skryty i próżny. Często zapominał zjadać posiłki. Miał mnóstwo wad, ale był niezwykle inteligentny. I to dzięki jego błyskotliwości pamiętamy go do dziś, nawet jeśli trudno nam zrozumieć, co myślał i pisał.

Isaac Newton (1642–1727) mógł być niemiły niezależnie od tego, co go spotykało, ale dzieciństwo miał bardzo trudne. Ojciec zmarł, zanim Isaac przyszedł na świat. Matka, która nie spodziewała się, że chłopiec przeżyje, zostawiła go u swoich rodziców. Ponownie wyszła za mąż i założyła nową rodzinę. Isaac nienawidził ojczyma, nie lubił dziadka i nie przepadał też za matką i babką. Prawdę mówiąc, już od dzieciństwa nie lubił ludzi. Jako dziecko i jako staruszek wolał samotność.

Było jednak oczywiste, że jest bardzo mądry, więc wysłano go do pobliskiej szkoły średniej w Grantham w Lincolnshire, gdzie świetnie nauczył się łaciny (pisał w tym języku z równą łatwością co po angielsku). Jednak większość czasu w szkole spędził na robieniu modeli zegarów i innych urządzeń mechanicznych oraz konstruowaniu zegarów słonecznych.

Gdy w 1661 roku wstąpił do Trinity College na uniwersytecie w Cambridge, także wynajdywał sobie różne zajęcia. Powinien był zapoznawać się z dziełami Arystotelesa i Platona. Przeczytał fragmenty tych ksiąg (prowadził sumienne notatki, więc dokładnie wiadomo, z jaką częścią ich prac się zapoznał), ale jego ulubieńcami byli autorzy mu współcześni: Kartezjusz, Boyle i inni przedstawiciele nowej nauki. Wolał samodzielnie dojść do pewnych rzeczy, niż o nich czytać. Dlatego obmyślił wiele nowych eksperymentów. Największy geniusz przejawił w matematyce i zastosowaniu jej do lepszego zrozumienia wszechświata.

Newton opracował wiele swoich koncepcji zaledwie w ciągu kilku niezwykle płodnych lat. Żaden naukowiec, z wyjątkiem Einsteina, nie dokonał tyle w tak krótkim czasie. Najlepszy okres Newtona przypadł na lata 1665–1666. Część czasu spędził wówczas u matki w Woolsthorpe w Lincolnshire, ponieważ w Anglii szalała wtedy epidemia dżumy i uniwersytet w Cambridge został zamknięty, a studentów odesłano do domu. To właśnie wtedy Newton obserwował jabłka spadające z drzew w ogrodzie matki. Zapewne nie wyglądało to tak teatralnie, jak mówi anegdota, ale przypomniało mu o problemie wymagającym wyjaśnienia – dlaczego przedmioty spadają na ziemię?

W tamtym okresie Newton zajmował się wieloma zagadnieniami naukowymi, na przykład matematycznymi. Galileusz, Kartezjusz i wielu innych uczonych dołożyło starań,

aby rozwinąć matematykę jako dziedzinę nauki i, co ważniejsze, zastosować ją do zrozumienia wyników swoich obserwacji i doświadczeń naukowych. Newton był jeszcze lepszym matematykiem i w błyskotliwy sposób ją wykorzystywał. Aby matematycznie opisać ruch i grawitację, nie wystarczały algebra i geometria. Należało rozważać bardzo krótkie jednostki czasu i odcinki ruchu – prawdę mówiąc, nieskończenie krótkie. Gdy myślimy o kuli wystrzelonej z pistoletu, jabłku spadającym z drzewa albo planecie krążącej wokół Słońca, musimy skoncentrować się na odcinkach, które te obiekty pokonują w najkrótszym dającym się wyobrazić czasie. Wielu filozofów przed Newtonem dostrzegło ten problem i zaproponowało różne rozwiązania. Jednak dwudziestokilkuletni Newton wymyślił do tego celu własne narzędzia matematyczne. Swoją metodę nazwał „fluksją" od słowa *flux* oznaczającego coś zmieniającego się. Jego fluksja była rodzajem obliczeń, które wykonujemy w dziedzinie matematyki, obecnie zwanej rachunkiem różniczkowym. W październiku 1666 roku, gdy Newton ukończył dzieło napisane wyłącznie dla własnej satysfakcji, był czołowym europejskim matematykiem, ale nikt oprócz niego o tym nie wiedział… Nie od razu opublikował swoje matematyczne odkrycia. Wykorzystywał je, ale dopiero później podzielił się nimi ze znajomymi.

Newton zaczął też badać światło. Od czasów starożytnych zakładano, że światło słoneczne jest białe, czyste i jednorodne (czyli w całości złożone z części tego samego rodzaju). Kolory uznano za modyfikacje tego zasadniczo czystego promieniowania. Newton przestudiował dzieło Kartezjusza o świetle i powtórzył jego eksperymenty. Użył soczewek, a później szklanego przedmiotu, zwanego pryzmatem, który rozszczepia światło. Wpuścił promień światła do zaciemnionego pokoju, przepuścił go przez pryzmat, a następnie skie-

rował go na ścianę oddaloną o około siedem metrów. Gdyby światło było jednorodne, jak uważał Kartezjusz i wielu innych, odbicie na ścianie powinno mieć postać białego koła, czyli kształt otworu, przez który wpadał promień. Zamiast tego pojawił się wielokolorowy pas. Newtonowi nie udało się uzyskać dokładnie kolorów tęczy, ale był na dobrej drodze, aby wyjaśnić, jak one powstają.

W okresie epidemii dżumy Newton dokonał również postępu w dziedzinie mechaniki, formułując prawa rządzące ciałami w ruchu. Wiemy już, jakie koncepcje zaproponowali Galileusz, Kepler, Kartezjusz i inni, aby wyjaśnić (i zapisać w sposób matematyczny) to, co się dzieje, gdy pocisk zostanie wystrzelony z pistoletu albo gdy Ziemia obraca się wokół Słońca. Interesował się tym również Robert Hooke. Newton przeczytał prace tych uczonych, ale poszedł w swoich dociekaniach głębiej. Pewnego razu napisał do Hooke'a: „Jeśli widzę dalej, to tylko dlatego, że stoję na ramionach gigantów". Pamiętasz, jak rodzice nosili cię na ramionach? Gdy nagle patrzy się z miejsca położonego dwa lub trzy razy wyżej, dostrzega się różne rzeczy niewidoczne z poziomu wzrostu dziecka. Właśnie to miał na myśli Newton. Jego błyskotliwe porównanie pokazuje, że każdy naukowiec i każde pokolenie uczonych może korzystać z dorobku swoich poprzedników. Na tym polega istota nauki.

Jednak Newton też był gigantem i wiedział o tym. Kłopoty pojawiały się, gdy czuł, że inni go nie doceniają. Zatargi z Robertem Hookiem zaczęły się, gdy Newton po raz pierwszy przedstawił swój dokument Towarzystwu Królewskiemu. Członkowie Towarzystwa zrobili to, co dziś robią wszystkie czasopisma naukowe: wysłali tekst do innego eksperta, aby go ocenił. Nazywamy to recenzją naukową, a recenzowanie jest elementem otwartości i jawności, czyli zasad, z których naukowcy są tacy dumni. Towarzystwo

Królewskie wybrało Hooke’a na recenzenta, ponieważ on również zajmował się badaniem światła. Newtonowi nie spodobały się jego komentarze. Chciał nawet wystąpić z Towarzystwa, jednak pozostali członkowie zignorowali jego list dotyczący rezygnacji.

Po rozkwicie twórczego zapału w latach sześćdziesiątych XVII wieku Newton skierował swoją uwagę na inne zagadnienia, między innymi alchemię i teologię. Jak zawsze starannie notował to, co przeczytał, i opisywał swoje eksperymenty naukowe. Z tych notatek do dziś korzystają ci, którzy chcą zrozumieć określony aspekt jego myślenia. Newton nie rozgłaszał swoich przemyśleń i wyników badań, a zwłaszcza poglądów religijnych, które różniły się od tych wyznawanych przez Kościół anglikański. Uniwersytet w Cambridge wymagał od studentów, aby podzielali światopogląd Kościoła. Na szczęście Newton miał potężnych popleczników na uczelni, więc mógł zostać pracownikiem naukowym Trinity College, a później profesorem matematyki na wydziale Lucasa bez konieczności oświadczania pod przysięgą, że wierzy we wszystkie doktryny kościelne. Stanowisko profesora zajmował przez ponad dwadzieścia lat. Niestety był fatalnym wykładowcą, a studenci nie mogli zrozumieć, o czym mówi. Czasami, gdy przychodził na zajęcia, w sali wykładowej nie było nikogo. W programie jego wykładów były tylko poważne tematy, takie jak światło i ruch, nie alchemia i teologia, którymi zajmował się w tajemnicy, a które z pewnością byłyby bardziej ekscytujące dla jego studentów.

W połowie lat osiemdziesiątych XVII wieku badania Newtona z zakresu matematyki, fizyki i astronomii stały się szeroko znane. Naukowiec napisał wiele prac, ale opublikował zaledwie kilka i często podkreślał, że swoje dokonania naukowe przeznacza tylko dla siebie albo dla tych, którzy na-

dejdą po jego śmierci. W 1684 roku w Cambridge odwiedził go astronom Edmund Halley. (Na jego cześć nazwano kometę, którą ponownie będzie można zobaczyć w 2061 roku). Halley i Hooke dyskutowali o torze ciała orbitującego wokół innego ciała (jak Ziemia wokół Słońca albo Księżyc wokół Ziemi). Zastanawiali się, czy grawitacja może wpływać na tor ciała „odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości". Grawitacja jest tylko jednym z oddziaływań, które opisuje taka zależność. Oznacza ona, że siła grawitacji spada odwrotnie proporcjonalnie do kwadratu odległości między dwoma ciałami i oczywiście w tym samym stopniu wzrasta, gdy ciała zbliżają się do siebie. Przyciąganie będzie wzajemne, ale istotna jest też masa ciał. Jeśli jedno ciało, na przykład Ziemia, jest bardzo duże, a drugie, na przykład jabłko, bardzo małe, to prawie całe przyciąganie będzie pochodzić ze strony Ziemi. W rozdziale 12 pojawiła się informacja, w jaki sposób Galileusz użył funkcji kwadratowej w swoim dziele o spadających ciałach. Z tą funkcją zetkniemy się również w dalszych rozdziałach, gdyż natura najwyraźniej lubi, aby zjawiska były funkcjami kwadratowymi czy to czasu, przyspieszenia, czy też przyciągania. Gdy używasz potęg kwadratowych (na przykład 3 x 3 = 9, czyli 3^2), pamiętaj, że matka Natura się uśmiecha.

Wizyta Halleya spowodowała, że Newton odsunął na bok teologię i alchemię, a zajął się swoim największym dziełem – jedną z najważniejszych książek w historii nauki (choć niełatwo się ją czyta). Obecnie znana jest jako *Principia*, ale pełny łaciński tytuł brzmi *Philosophiae naturalis principia mathematica* (*Matematyczne podstawy filozofii naturalnej*). (Pamiętaj, że „filozofia naturalna" to dawne określenie nauki). Opisał w niej dokładnie, jak należy stosować jego nową matematykę, i wyjaśnił wiele aspektów fizycznej natury świata za pomocą liczb, zamiast słów. W czasach Newto-

na jedynie kilka osób było w stanie zrozumieć jego koncepcje, ale znacznie szerzej został doceniony jego przekaz. Był to nowy sposób postrzegania i opisywania wszechświata.

Wiele aspektów swoich poglądów na świat i niebo Newton zawarł w słynnych trzech zasadach dynamiki, sformułowanych w *Principia*. Pierwsza z nich mówi, że dopóki każde ciało spoczywa albo porusza się po linii prostej, dopóty nie zadziała na nie jakaś siła. Kamień będzie przez wieczność leżał na zboczu wzgórza, o ile coś – wiatr, deszcz lub człowiek – nie wprawi go w ruch, a bez jakiegoś zakłócenia (tarcia) będzie się zawsze poruszać ruchem jednostajnym prostoliniowym (czyli po linii prostej, ze stałą prędkością).

Druga zasada dynamiki mówi, że jeśli ciało już się porusza, kierunek lub prędkość ruchu może ulec zmianie pod wpływem niezrównoważonej siły. Wielkość przyspieszenia zależy od wielkości siły, która działa na ciało. Doniczka spadająca z parapetu wieżowca będzie spadała ze stałym przyspieszeniem, ponieważ działa na nią siła grawitacji (pomijamy opór powietrza). Im będzie bliżej ziemi, tym jej prędkość będzie większa. Innym przykładem ruchu przyspieszonego jest ruszanie samochodem ze świateł lub zjazd ze stoku na nartach.

Trzecia zasada dynamiki mówi, że każdej akcji towarzyszy równa co do wartości, ale przeciwnie skierowana reakcja. To oznacza, że dwa ciała zawsze działają na siebie z taką samą siłą, ale w przeciwnych kierunkach. Uderzony balon odleci od twojej ręki, ale twoja dłoń może odbić się od balonu i zaboli. To dlatego, że lekkim obiektom trudniej jest wpłynąć na ciężkie i odwrotnie. (Przekonaliśmy się, że tak samo było w przypadku grawitacji).

Te trzy zasady dynamiki dawały odpowiedzi na kwestie intrygujące żyjących wcześniej uczonych. Za ich pomocą Newton wyjaśnił wiele zaobserwowanych zjawisk – od ru-

chów planet po tor strzały wystrzelonej z łuku. Zasady dynamiki pozwalały patrzeć na świat jak na ogromną maszynę działającą według określonych praw, taką jak zegar wskazujący czas dzięki sprężynom, śrubkom, trybikom i zapadkom. *Principia* zostały uznane za dzieło potężnego i wybitnego umysłu, a porywczemu odludkowi przyniosły sławę i uznanie. W nagrodę za nie Newton otrzymał dobrze płatną posadę nadzorcy mennicy królewskiej, gdzie bito monety i regulowano ilość pieniędzy w kraju. Uczony z zapałem zabrał się do pracy, tropiąc fałszerzy monet. Musiał przenieść się do Londynu, więc zrezygnował ze wszystkich swoich obowiązków w Cambridge. Ostatnie trzydzieści lat życia spędził w stolicy. Został przewodniczącym Towarzystwa Królewskiego.

W Londynie Newton w sposób dość istotny przeredagował *Principia*, między innymi dodał swoje późniejsze prace, a także odpowiedział na krytykę podnoszoną od czasu pierwszego wydania. Uczeni często tak robią. Niedługo po śmierci Roberta Hooke'a, w 1704 roku, Newton opublikował traktat o świetle pt. *Opticks* (*Optyka*). Newton i Hooke wielokrotnie spierali się o to, który z nich dokonał czegoś pierwszy i jak należy rozumieć wyniki eksperymentów pokazujących, czym jest światło i jak się zachowuje. Większość pracy nad tą książką Newton wykonał prawie czterdzieści lat wcześniej, ale nie chciał jej wydawać za życia Hooke'a. *Optyka*, podobnie jak *Principia*, to bardzo ważne dzieło. Niektóre zawarte w nim wnioski poznamy w dalszych rozdziałach, gdy to inni uczeni – mówiąc przenośnie – stawali na ramionach Newtona.

Newton był pierwszym uczonym uhonorowanym tytułem szlacheckim i zwanym sir Isaakiem. Miał władzę, ale nie był zbyt szczęśliwy. Nie można było nazwać go miłym człowiekiem, ale był wybitną postacią, jednym z najbardziej kre-

atywnych uczonych wszech czasów, cenionym za ogromny wkład w nasze rozumienie otaczającego nas świata. *Principia* to szczytowe osiągnięcie astronomii i fizyki, z takim zaangażowaniem uprawianych przez Keplera, Galileusza, Kartezjusza i wielu innych. W tym dziele Newton połączył niebo i Ziemię w jeden system, gdyż jego zasady dynamiki miały zastosowanie w całym wszechświecie. Przedstawił matematyczne i fizyczne wyjaśnienia sposobu poruszania się planet i ciał spadających na ziemię. Stworzył podstawy fizyki uprawianej przez naukowców w XX wieku, kiedy Einstein i inni dowiedli, że wszechświat to coś więcej, niż Newton kiedykolwiek sobie wyobrażał.

ROZDZIAŁ 17

Błyskawice

Zastanów się, czym dokładnie jest błyskawica i dlaczego po błysku następuje grzmot? Gwałtowne rozbłyski i grzmoty pojawiają się wysoko w chmurach i wyglądają dość groźnie, nawet jeśli wiemy, co je powoduje. Piorun zawsze wnika w ziemię. Może właśnie dlatego na początku XVIII wieku uczeni zaczęli się zastanawiać, czym jest elektryczność.

Kolejną zagadką dla naukowców było zjawisko znane jako **magnetyzm**. Starożytni Grecy wiedzieli, że jeśli mocno potrze się bursztyn, przyciąga on do siebie małe, znajdujące się w pobliżu przedmioty. Trudno było zrozumieć, co jest źródłem tej siły. Wydawała się odmienna od stałej siły wytwarzanej przez inny kamień, magnetyt, przyciągający przedmioty zawierające żelazo. Magnetyt, tak jak Gwiazda Polarna, prowadzi wędrowców. Jeśli kawałek tego minerału zawiesi się tak, aby mógł się swobodnie obracać, zawsze wskazuje bieguny magnetyczne Ziemi. Ten minerał służy również do magnetyzowania igieł. W czasach Kopernika, czyli w połowie XVI wieku, marynarze używali prostych

kompasów, aby ustalić kurs, gdyż jeden koniec poruszającej się igły zawsze wskazywał północ. Angielski lekarz William Gilbert napisał o tym w 1600 roku, po raz pierwszy używając słowa „magnetyzm”. Zjawiska elektryczne i magnetyczne były dość widowiskowe, więc stały się popularnym tematem odczytów naukowych i poobiednich zabaw.

Wkrótce uzyskano jeszcze lepsze efekty, obracając szklaną kulę na iglicy i pocierając ją w trakcie ruchu. Można było poczuć, a nawet usłyszeć trzask iskier powstających na szkle. Taki eksperyment stał się punktem wyjścia do skonstruowania butelki lejdejskiej (jej nazwa pochodzi od nazwy holenderskiego miasta, w którym została wynaleziona w 1745 roku przez profesora uniwersytetu). Napełniona do połowy wodą butelka lejdejska była podłączona drutami do maszyny generującej ładunki elektryczne. Element łączący nazwano **przewodnikiem elektrycznym**, ponieważ pozwalał tajemniczej mocy przeniknąć do wody w słoiku, gdzie się gromadziła. („Przewodzić” oznacza tu ‘przeprowadzać’). Gdy asystent laboratoryjny dotknął ścianki butelki i przewodnika, został porażony prądem. Przeżył taki wstrząs, iż pomyślał, że już po nim. Raport z tego eksperymentu wywołał sensację i zapanowała moda na butelki lejdejskie. Pewnego razu dziesięciu mnichów złapało się za ręce, tworząc łańcuch, i gdy pierwszy z nich dotknął butelki i przewodnika, jednocześnie wszyscy podskoczyli. Okazało się, że impuls elektryczny może być przekazywany od jednej do drugiej osoby.

Co dokładnie się wtedy działo? Bawiono się elektrycznością, ale prowadzono też nad nią poważne badania naukowe. Powstało wiele różnych teorii na jej temat, jednak dopiero Benjamin Franklin (1706–1790) wprowadził w nich pewien porządek. Często mówi się o nim jako o amerykańskim patriocie i współautorze Deklaracji niepodległości

(1776) napisanej, gdy Stanom Zjednoczonym udało się uzyskać niezależność od Imperium Brytyjskiego. Był błyskotliwym, popularnym człowiekiem, znanym z wygłaszania sentencji, takich jak „Czas to pieniądz!” i „Na tym świecie nie ma nic pewnego oprócz śmierci i podatków”. Gdy następnym razem usiądziesz w fotelu bujanym albo zobaczysz kogoś w dwuogniskowych okularach, pomyśl o Franklinie, bo to on jest ich wynalazcą.

Franklin był głównie samoukiem, ale znał się na wielu rzeczach. Równie dobrze czuł się we Francji, Wielkiej Brytanii, jak i Stanach Zjednoczonych. Swoje najsłynniejsze eksperymenty z piorunami przeprowadził we Francji. Jak większość ludzi w latach czterdziestych i pięćdziesiątych XVIII wieku zainteresował się butelką lejdejską i tym, co za jej pomocą można pokazać. W jego rękach okazała się czymś więcej niż tylko zabawką. Po pierwsze, uczony zdał sobie sprawę z tego, że przedmioty mogą przenosić dodatnie lub ujemne ładunki elektryczne (co jest zaznaczone jako plus i minus na dwóch końcach baterii elektrycznej). Stwierdził, że w butelce lejdejskiej drut i woda były naładowane dodatnio, a zewnętrzna powierzchnia butelki – ujemnie. Ładunki dodatnie i ujemne miały taką samą wartość, więc znosiły się nawzajem. Dalsze doświadczenia naukowe przekonały go, że za właściwości butelki lejdejskiej tak naprawdę odpowiada szkło. Umieszczając kawałek szkła między dwoma ołowianymi płytkami, skonstruował rodzaj kondensatora, który nazwał **baterią elektryczną**. Gdy podłączał tę baterię do źródła elektryczności, rozładowywała się. Niestety nie zbadał do końca tego odkrycia.

Franklin nie był pierwszym uczonym, którego zastanawiała zależność między iskrami generowanymi przez ziemskie maszyny a błyskawicami na niebie, czyli piorunami. Ale to on jako pierwszy wykorzystał wiedzę, którą dały mu do-

świadczenia z butelką lejdejską, aby zbadać ten związek. Wymyślił sprytny, ale niebezpieczny eksperyment naukowy. Twierdził, że ładunki elektryczne w atmosferze zbierają się na powierzchni chmur, tak jak w butelce lejdejskiej. Gdy dwie chmury zderzą się ze sobą, jak podczas burzy, następuje wyładowanie elektryczne, czyli rozbłysk. Aby tego dowieść, wypuścił latawiec podczas burzy. Osoba trzymająca latawiec musiała być odpowiednio izolowana elektrycznie (sznur latawca był zakończony woskowym uchwytem) i uziemiona (kawałkiem drutu biegnącym od ubrania do ziemi). Gdyby nie zastosowano takich zabezpieczeń, wyładowanie elektryczne mogło ją zabić – i rzeczywiście jeden niefortunny eksperymentator zginął, ponieważ nie przestrzegał zaleceń Franklina. Doświadczenia z latawcami przekonały Franklina, że ładunki elektryczne w błyskawicy są takie same jak w butelce lejdejskiej.

Najpierw grawitacja, teraz elektryczność – rzeczy na niebie i na Ziemi były sobie coraz bliższe.

Badania Franklina nad elektrycznością natychmiast wykorzystano w praktyce. Uczony pokazał, że ostro zakończony metalowy pręt przewodzi prąd do ziemi. Zatem, gdyby umieścić na szczycie budynku taki pręt, zaizolowany na całej długości, piorun uderzy w pręt i ładunki elektryczne spłyną do ziemi, a budynek będzie chroniony przed zapaleniem się od uderzenia pioruna. W tamtych czasach, gdy domy na ogół budowano z drewna i niekiedy kryto strzechą, zagrożenie pożarem było poważne. Na opisanej powyżej zasadzie działają piorunochrony (tak się je do dziś nazywa). Nadal też stosuje się termin „uziemienie”, wskazujący na kawałek izolowanego drutu w gniazdkach elektrycznych, który odprowadza nadmiar ładunków elektrycznych z urządzeń, takich jak pralki i lodówki. Franklin zamontował piorunochron na własnym domu i pomysł się przyjął. Zrozu-

mienie elektryczności miało przynieść o wiele więcej istotnych konsekwencji.

W XVIII wieku badania nad elektrycznością należały do najbardziej ekscytujących, a wielu „elektryków”, jak nazwano prowadzących je naukowców, przyczyniało się do poszerzenia naszej wiedzy w tej dziedzinie. W historii nauki szczególnie zapisały się trzy nazwiska: Galvani, Volta i Ampère.

Włoski lekarz Luigi Galvani (1737–1798) lubił eksperymentować z aparatem elektrycznym i zwierzętami. Praktykował medycynę oraz nauczał anatomii i położnictwa na Uniwersytecie Bolońskim, a także interesował się badaniami fizjologicznymi. Gdy analizował związki między mięśniami a nerwami, odkrył, że można spowodować skurcz mięśnia żaby, łącząc obsługujący go nerw ze źródłem elektryczności. W kolejnych badaniach porównał mięsień do butelki lejdejskiej zdolnej generować wyładowanie prądu elektrycznego. Stwierdził, że „elektryczność zwierzęca”, jak ją nazwał, jest ważnym aspektem funkcjonowania zwierząt. I miał rację. Na podobnej zasadzie działa **ogniwo galwaniczne**, zbudowane z dwóch elektrod zanurzonych w elektrolicie. Naukowcy i elektrycy używają galwanometrów do mierzenia słabych prądów.

Wprowadzone przez Galvaniego pojęcie elektryczności zwierzęcej zostało poddane ostrej krytyce, zwłaszcza przez Alessandra Voltę (1745–1827), uczonego z Como w północnych Włoszech. Volta miał kiepską opinię o lekarzach, którzy wtrącali się do fizyki. Postanowił dowieść, że elektryczność zwierzęca nie istnieje. Volta i Galvani stoczyli publiczną dysputę na temat interpretacji wyników doświadczeń tego drugiego. Intensywnie pracując nad zdyskredytowaniem Galvaniego, Volta zbadał węgorze elektryczne, które,

jak można pokazać, wytwarzają ładunki elektryczne. Wierzył, że nawet istnienie tych zwierząt nie dowodzi obecności elektryczności u zwierząt. Co ważniejsze, Volta odkrył, że jeśli zbuduje stos warstw cynku i srebra i oddzieli je warstwą mokrego kartonu, to może uzyskać stały przepływ prądu elektrycznego przez wszystkie warstwy. Opis swojego wynalazku, który nazwał **stosem**, wysłał do Towarzystwa Królewskiego w Londynie. Wywołał tym sensację w Anglii i Francji, podobną jak wcześniej butelka lejdejska.

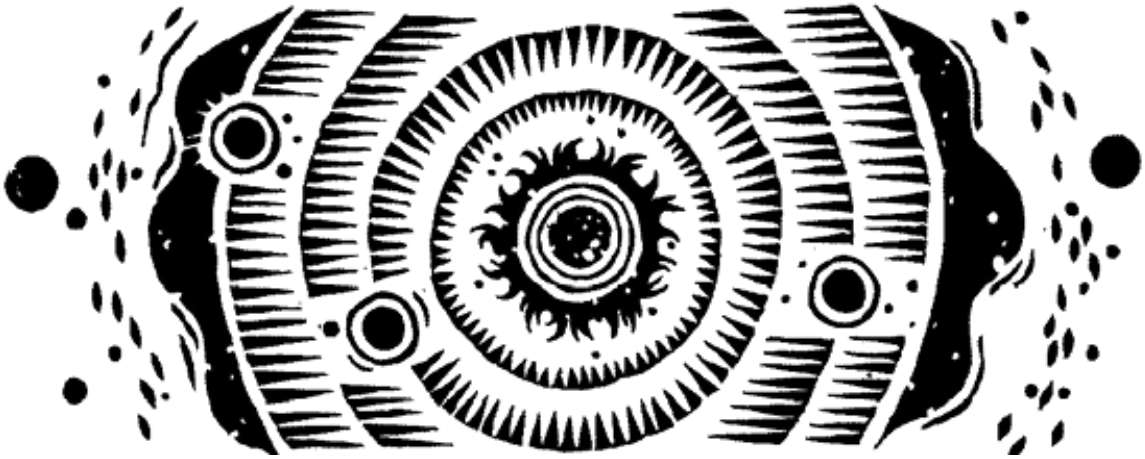
W tym czasie, gdy trwały dysputy na temat elektryczności, Francja dążyła do podboju Włoch i cesarz Napoleon Bonaparte odznaczył włoskiego fizyka za wynalazek zapewniający niezawodne źródło prądu elektrycznego w badaniach naukowych. Stos Volty był praktycznym rozwinięciem „baterii" Franklina. Odegrał istotną rolę w chemii na początku XIX wieku i wciąż jest ważny w naszym codziennym życiu. Dla uhonorowania Volty jego nazwiskiem nazwano jednostkę napięcia elektrycznego „wolt" (sprawdź na obudowie baterii).

Trzecim wielkim „elektrykiem" i wspaniałym matematykiem był André-Marie Ampère (1775–1836). Od jego nazwiska pochodzi nazwa jednostki natężenia prądu elektrycznego – **amper**. Ampère przeżył dramat rewolucji francuskiej, podczas której jego ojca stracono na gilotynie. Życie osobiste tego naukowca też było smutne. Jego ukochana pierwsza żona zmarła po trzecim porodzie, a drugie małżeństwo było nieudane i zakończyło się rozwodem. Dzieci dostarczały mu kolejnych zmartwień i nieustannie trapiły go problemy finansowe. Mimo wszystko Ampère dokonał fundamentalnych odkryć w matematyce, fizyce i przede wszystkim nauce nazwanej elektrodynamiką, która łączy elektryczność z magnetyzmem. Mimo jej złożoności proste i eleganckie eksperymenty Ampère'a dowiodły, że magnetyzm to w zasa-

dzie elektryczność w ruchu. Jego prace stały się podstawą badań Faradaya i Maxwella i dlatego więcej o tych zjawiskach powiemy w jednym z dalszych rozdziałów. Choć późniejsi naukowcy wykazali, że wiele szczegółów teorii Ampère'a prowadzi donikąd, to jego rozważania stały się punktem wyjścia wielu badań dotyczących elektromagnetyzmu. Ponadto warto pamiętać, że w nauce czasem się błądzi, a błądzenie jest rzeczą ludzką.

Gdy Ampère umierał, elektryczność – po długich przejściach – została już „oswojona". Badania Franklina okazały się ważne, ale on sam był domorosłym, genialnym amatorem w porównaniu z Galvanim, Voltą i Ampèrem, którzy używali zaawansowanego sprzętu i pracowali w laboratoriach. W sporze z Voltą to Galvani mógłby śmiać się ostatni, bo – jak obecnie wiadomo – elektryczność odgrywa istotną rolę w interakcjach mięśni i nerwów.

ROZDZIAŁ 18



Wszechświat jako mechaniczny zegar

Rewolucja francuska w 1789 roku, wojna o niepodległość Stanów Zjednoczonych (znana także jako amerykańska rewolucja) w 1776 roku i rewolucja październikowa w Rosji w 1917 roku gwałtownie wprowadziły nowe formy władzy i nowy porządek społeczny. Była także rewolucja newtonowska, równie ważna i doniosła w skutkach, choć jej efekty stały się widoczne dopiero po dekadach, nie latach. Zmieniła opis świata, w którym żyjemy.

Sir Isaac Newton zmarł w 1717 roku. Wciąż pozostawał wybitną postacią XVIII wieku. W każdej dziedzinie działalności ludzie chcieli zostać „Newtonami” swojej specjalności. Adam Smith chciał być Newtonem ekonomii. Niektórzy tytułowali Williama Cullena Newtonem medycyny. Jeremy Bentham starał się zasłużyć na miano Newtona społecznych i politycznych reform. Łączyło ich jedno – wszyscy pragnęli znaleźć prawo lub zasadę obejmującą całą ich dziedzinę,

tak jak prawo grawitacji obejmowało wszechświat, wprawiając go w regularny i stateczny ruch przez pory roku i lata. Poeta Alexander Pope zażartował: „Natura i prawa natury tkwiły ukryte w ciemnościach. Rzekł Bóg: *Niech stanie się Newton!* I wszystko stało się jasne”.

Pope, będący Anglikiem, mógł być stronniczy wobec rodaka. We Francji, Niemczech i Włoszech Newton był znaną postacią już za swego życia, ale tamte kraje hołdowały innym tradycjom naukowym, które wciąż się liczyły. We Francji nadal silna była kartezjańska wizja mechanicznego wszechświata. W Niemczech wciąż trwały spory o to, kto wymyślił rachunek różniczkowy, a wielbiciele Gottfrieda Wilhelma Leibnitza (1646–1716) utrzymywali, że Newton w mniejszym stopniu przyczynił się do rozwinięcia tego matematycznego narzędzia niż ich filozof i matematyk. Jednak w Wielkiej Brytanii Isaac Newton miał wielu zwolenników, którzy z dumą nazywali siebie samych newtończykami oraz korzystali z jego wspaniałych dokonań w matematyce, fizyce, astronomii i optyce.

Stopniowo ze znaczenia Newtonowskich doświadczeń optycznych i praw ruchu zaczynali zdawać sobie sprawę inni Europejczycy. Do poprawy reputacji Newtona dość niespodziewanie przyczynił się francuski poeta, pisarz i epistolograf Wolter (1694–1778). Najbardziej znaną postacią z jego dzieł był Kandyd, sympatyczny bohater powiastki przygodowej. Życie Kandyda to pasmo nieustających katastrof – ponosi on porażkę za porażką, ale nigdy nie zapomina przyświecającego mu kredo: stworzony przez Boga świat musi być najlepszym z możliwych. Dlatego Kandyd zachowuje pogodę ducha i pewność, że niezależnie od tego, co strasznego go spotka, to jest to najlepsze „na tym najlepszym z możliwych światów”. (Po koszmarnych przygodach

dochodzi do wniosku, że powinien był zostać w domu i uprawiać swój ogródek. Całkiem rozsądne przemyślenia).

Kandyd był delikatnym przytykiem do filozofii Leibnitza, będącego rywalem Newtona na polu rachunku różniczkowego. Wolter był wielkim fanem Newtona i, prawdę mówiąc, wszystkiego, co miało angielskie korzenie. Spędził kilka lat w Anglii, w której ogromne wrażenie zrobiła na nim panująca tam swoboda wypowiedzi i myśli. (W swojej ojczyźnie Wolter został uwięziony za krytykowanie Kościoła katolickiego i króla Francji, więc doskonale wiedział, jak ważna jest wolność słowa). Wrócił z Anglii jako admirator osiągnięć Newtona i napisał książkę popularyzującą jego idee wśród przeciętnych Francuzów. Zyskała ona wielu czytelników w Europie, gdzie wszyscy dyskutowali o tym, w jaki sposób Newtonowska matematyka i fizyka nadają sens ruchom planet i gwiazd, codziennym przypływom i odpływom morza, trajektoriom pocisków i oczywiście spadaniu jabłek.

Reputacja Newtona stopniowo się umacniała, ponieważ narzędzia – zarówno matematyczne, jak i fizyczne – które wymyślił na potrzeby słynnych *Principia*, okazały się przydatne i skuteczne. Pomogły matematykom, fizykom i astronomom przestudiować wiele problemów, które Newton jedynie poruszył. Żadna opublikowana praca naukowa nie jest ostatnim słowem naukowca i dzieła Newtona nie są tu wyjątkiem. Wielu uczonych miało to szczęście, że mogło być gigantami stojącymi na ramionach Newtona. I dzięki temu wielu z nich widziało dalej.

Przyjrzyjmy się trzem przykładom: przyczynom pływów morskich, kształtowi Ziemi oraz liczbie planet i ich orbitom w Układzie Słonecznym.

Pływy morskie to przypływy i odpływy morza. Odpływ morza następuje wtedy, gdy poziom wody opada i trzeba pie-

szo iść znacznie dalej, zanim wejdzie się do wody. Przypływ jest wtedy, gdy poziom wody podnosi się i zmywa z plaży zamki z piasku. Pływy następują regularnie w ciągu doby, a ich znajomość była ważna dla żeglarzy, którzy potrzebowali przypływu, aby statek mógł wejść do portu. Arystoteles dostrzegł związek między pływami a Księżycem. Później rozpowszechniło się przekonanie, że Ziemia się porusza. Czasami ludzie porównywali pływy z falami, które można wzbudzić w wiadrze wody, bujając nim. Dla Newtona kluczem do rozwiązania zagadki pływów była grawitacja. Twierdził, że grawitacyjne przyciąganie Księżyca jest największe, gdy znajduje się on najbliżej Ziemi. Księżyc krąży wokół Ziemi (tak jak Ziemia wokół Słońca) po elipsie, więc odległość między tymi ciałami niebieskimi regularnie się zmienia. Księżyc przyciąga wodę w oceanach siłą grawitacji. Gdy Ziemia się obraca wokół własnej osi, obszar oceanu raz jest bliżej, a raz dalej od Księżyca, więc na zmianę rosnąca i malejąca siła grawitacji powoduje regularne podnoszenie się i opadanie poziomu wody w oceanach. Wyjaśnia to pływy morskie. Newton miał rację, twierdząc, że to one ilustrują działanie grawitacji.

Kontynuatorzy dzieła Newtona uściślili obliczenia mistrza. W 1740 roku szwajcarski lekarz Daniel Bernoulli (1700–1782) przedstawił dokładniejszą analizę pływów morskich. Matematyka, fizyka i nawigacja interesowały go bardziej niż medycyna. Pomógł także wyjaśnić drgania strun (takich jak w gitarze) i ruch wahadeł (jak w zegarze dziadka). Poprawił też projekt statków. Przebywając w akademii medycznej w Bazylei, zastosował mechanikę newtonowską w obserwacjach skurczów i rozkurczów mięśni odpowiadających za poruszanie kończynami. Jego praca o pływach była odpowiedzią na problem postawiony przez paryską Akademię Nauk, która oferowała nagrodę pieniężną za jego

najlepsze rozwiązanie (oświecone społeczeństwa często tak robiły). Bernoulli podzielił się nagrodą z kilkoma innymi finalistami konkursu. Każdy z nich pomógł wyjaśnić, dlaczego obserwujemy pływy. Dzięki temu Bernoulli mógł uwzględnić w swoich wyjaśnieniach także efekt grawitacyjnego przyciągania Słońca. Gdy dwa ciała, takie jak Ziemia i Księżyc, przyciągają się nawzajem, opisujące to równania matematyczne są dość proste. Jednak ten prosty obraz znacznie komplikują Słońce, planety i inne ciała obdarzone masą. Wówczas równania matematyczne stają się bardzo złożone.

Paryską Akademię Nauk interesowała też odpowiedź na drugie ważne pytanie newtonowskie: dlaczego Ziemia jest kulą? Wiadomo było, że Ziemia, z górami i dolinami, nie jest idealnie gładka jak piłeczka do ping-ponga. Ale chyba była mniej więcej okrągła? Newton temu zaprzeczył, wykazując, że siła grawitacji na równiku i w północnej Europie nieco się różni. Wiedział o tym dzięki eksperymentom z wahadłem. Na ruch wahadła wpływa siła ziemskiej grawitacji. Im większa siła grawitacji, tym szybciej porusza się wahadło, a zatem w krótszym czasie kończy pełny cykl wychyleń. Marynarze zmierzyli, jak daleko wychyla się wahadło dokładnie w ciągu jednej sekundy. Okazało się, że wychylenie na równiku było nieco mniejsze. Na tej podstawie Newton wywnioskował, że na równiku odległość od powierzchni Ziemi do jej środka jest nieco większa. Gdyby Ziemia miała kształt idealnej kuli, ta odległość wszędzie byłaby jednakowa. W konsekwencji Newton stwierdził, że Ziemia jest nieco spłaszczona na biegunach i lekko wybrzuszona na równiku – jakby została nieco ściśnięta z góry i z dołu. Sądził, że gdy Ziemia była jeszcze młoda i stygła ze stanu płynnego, ten kształt nadała jej rotacja wokół osi północ–południe. New-

ton podkreślił, że to oznacza, iż Ziemia ma więcej niż 6000 lat, ale nigdy nie zdradził, jaki jego zdaniem był jej wiek.

Gdy w latach trzydziestych XVIII wieku we Francji debatowano o pracach Newtona, wielu francuskich uczonych nie chciało uwierzyć, że Ziemia nie jest idealnie kulista. Dlatego król Francji Ludwik XV wysłał dwie ekspedycje – jedną do Laponii nieopodal kręgu polarnego, drugą do Peru w pobliże równika. Była to dość kosztowna metoda sprawdzająca tak oczywisty fakt. Zadaniem obu wypraw było zmierzenie dokładnej długości jednego stopnia szerokości geograficznej w obu miejscach. Szerokość geograficzna określa odległość od równika wzdłuż osi północ–południe, przy czym równik ma 0° szerokości geograficznej, biegun północny +90°, a południowy -90°. (Cała Ziemia ma 360°). Równoleżniki szerokości geograficznej możesz zobaczyć narysowane w poprzek mapy świata. Gdyby Ziemia była idealnie kulista, każdy stopień szerokości geograficznej odpowiadałby takiej samej odległości na jej powierzchni. Pierwsza wróciła ekspedycja lapońska (nie miała daleko). Gdy po dziewięciu latach zjawiła się też grupa peruwiańska, okazało się, że jeden stopień szerokości geograficznej w Laponii jest dłuższy niż w Peru – dokładnie tak, jak przewidywał model newtonowski. Te wyniki umocniły reputację Newtona w Europie.

Astronomowie w całej Europie spoglądali na gwiazdy i planety, starając się przewidzieć, jak się przesuną, a zatem, gdzie będą widoczne każdej nocy każdego roku. Te przewidywania były tym precyzyjniejsze, im więcej obserwacji prowadzono i im dokładniejszy opis ich ruchów przedstawiano w matematyczny sposób. Skonstruowanie większych teleskopów pozwoliło astronomom zajrzeć dalej w kosmos i odkryć tam nowe gwiazdy, a nawet galaktyki.

Jednym z najważniejszych obserwatorów był William Herschel (1738–1822), który wyemigrował z Niemiec do Anglii. Był muzykiem, ale jego pasją stało się patrzenie w niebo. Pewnej nocy w 1781 roku zauważył nowy obiekt niebędący gwiazdą. Początkowo pomyślał, że to kometa. Opisał ją Towarzystwu Filozoficznemu w Bath, gdzie mieszkał. Jego odkrycie zwróciło uwagę innych i wkrótce stało się jasne, że Herschel dostrzegł nową planetę. Nazwano ją Uranem, imieniem boga z greckiej mitologii. To odkrycie zmieniło życie Herschela i pozwoliło mu poświęcić się wyłącznie astronomii. Król Jerzy III, którego rodzina również pochodziła z Niemiec, zainteresował się pracą uczonego. Pomógł mu zbudować największy teleskop na świecie i zamieszkać w pobliżu jednego z królewskich zamków w Windsorze. Herschel do tego stopnia zaangażował się w obserwację nieba, że gdy przeniósł się do Windsoru, tak zorganizował swoje życie, aby nie stracić ani jednej nocnej obserwacji. W pracy pomagała mu siostra Karolina (1750–1848), również biegła w astronomii. Syn Herschela, John (1792–1871), kontynuował jego dzieło, robiąc z niego rodzinny biznes.

William Herschel nie tylko patrzył na gwiazdy, planety i inne ciała niebieskie, ale też intensywnie myślał o tym, co widzi. Ponieważ miał najlepszy ówczesny teleskop, mógł patrzeć dalej niż inni. Opracował katalogi gwiazd, znacznie obszerniejsze i dokładniejsze od wcześniejszych. Zdawał sobie sprawę z tego, że nasza galaktyka, Droga Mleczna, to jedne z wielu galaktyk we wszechświecie. Długo i ciężko pracował nad ustaleniem, czym są tak zwane mgławice, czyli białe, rozmyte obszary. Niektóre z nich można czasami dostrzec gołym okiem w bezchmurną noc, ale teleskop Herschela wykrył ich znacznie więcej. Droga Mleczna wydaje się rozmyta, gdy patrzy się na jej odleglejsze końce, więc astronomowie założyli, że mgławice to po prostu grupy

gwiazd. Herschel wykazał, że część białych obszarów prawdopodobnie stanowią gwiazdy, ale inne są ogromnymi obłokami gazu kłębiącymi się w głębokim kosmosie. Ponadto, obserwując gwiazdy podwójne, czyli pary blisko położonych gwiazd („blisko” w kategoriach odległości rozpatrywanych w kosmosie), wykazał, że zachowanie tych obiektów można wyjaśnić przyciąganiem grawitacyjnym. Grawitacja Newtona sięgała w najdalsze zakątki kosmosu.

Newtonowskie prawa grawitacji i ruchu wraz z jego matematycznym opisem siły, przyspieszenia (wzrastającej prędkości) oraz inercji (tendencji do poruszania się ruchem jednostajnym lub pozostawania w spoczynku) stały się zasadami przewodnimi fizyków w XVIII wieku. Nikt wówczas nie wniósł więcej do tej dziedziny nauki niż Pierre Simon de Laplace (1749–1827), aby pokazać, ile za jej pomocą można wyjaśnić. Ten Francuz pracował z Lavoisierem, którego bliżej poznamy w rozdziale 20. Jednak Laplace, w odróżnieniu od niemającego szczęścia przyjaciela, przetrwał rewolucję francuską bez szwanku. Podziwiał go Napoleon i przez pół wieku uczony był czołową osobistością francuskiej nauki. Laplace wykorzystał newtonowskie prawa ruchu i narzędzia matematyczne, aby dowieść, że dzięki nim można zrozumieć to, co widać na niebie, oraz dokładnie przewidzieć przyszłe ruchy planet, gwiazd, komet i asteroid. Rozwinął teorię powstania Układu Słonecznego ze Słońcem i jego planetami, które ukształtowały się przed milionami lat na skutek ogromnego wybuchu. Uważał, że kiedyś Słońce wyrzucało ogromne ilości gorących gazów, które stopniowo stygły, tworząc planety i ich księżyce. Tę teorię nazwał hipotezą mgławicy słonecznej i przedstawił bardzo skomplikowane obliczenia na dowód, że może być prawdziwa. Opisał jedną z wersji tego, co obecnie nazywamy Wielkim Wy-

buchem. Współcześnie fizycy wiedzą jednak o tym wybuchu znacznie więcej niż Laplace.

Przydatność praw Newtona wywarła ogromne wrażenie na Laplasie. Nabrał on nawet przekonania, że gdybyśmy znali położenie każdej cząsteczki we wszechświecie w ustalonej chwili, moglibyśmy przewidzieć losy całego kosmosu aż po kres czasu. Zdawał sobie jednak sprawę z tego, że to niemożliwe. Miał na myśli to, że wedle praw materii i ruchu wszechświat działał jak doskonale zbudowany zegar precyzyjnie wskazujący czas. Jego wizja wszechświata jako mechanicznego zegara przemawiała do wyobraźni naukowców przez następne sto lat.

ROZDZIAŁ 19

Porządkowanie świata

Nasza planeta jest domem oszałamiająco różnorodnych roślin i zwierząt. Nadal nie wiemy, ile dokładnie żyje na niej owadów lub morskich stworzeń. Słusznie obawiamy się, że rodzaj ludzki przez swoje niekoniecznie przemyślane działanie redukuje ich liczbę. Informacje o zagrożonych gatunkach, takich jak panda wielka czy tygrys azjatycki, prawie codziennie pojawiają się w wiadomościach ze świata. Dla nas jako ludzi istotne jest tu słowo „zagrożone”, ale dla naukowców równie istotne jest słowo „gatunki”. Skąd wiemy, że panda wielka to inny rodzaj zwierzęcia niż niedźwiedź grizli albo że dzikie koty różnią się od domowych pieszczochów?

W biblijnej Księdze Rodzaju Adam miał za zadanie nazwać rośliny i zwierzęta w rajskim ogrodzie. Praktycznie wszystkie ludzkie społeczności wprowadzają jakąś klasyfikację porządkującą otaczający je świat istot żywych. W każdym języku są nazwy roślin i zwierząt wykorzystywanych przez ludzi

– roślin uprawianych i zbieranych, zwierząt jucznych, mięsnych, mlecznych bądź dostarczających skór.

W XVII i XVIII wieku europejscy badacze zaczęli przywozić wiele nowych roślin i zwierząt z egzotycznych krain: z Ameryki Północnej i Południowej, Afryki, Azji, później z Australii i Nowej Zelandii, a także z wysp oceanicznych. Wiele z nich było pięknych i znacząco odmiennych od dobrze znanej flory i fauny Starego Świata, ale po bliższym zbadaniu okazało się, że aż tak bardzo się nie różnią. Na przykład słonie indyjskie i afrykańskie były tak podobne, że stosowne wydawało się nazwanie ich tak samo. Oczywiście były między nimi drobne różnice. Jak zatem należy uwzględnić te detale i potraktować odmienności istniejące w sferze ogromnego bogactwa natury?

Od czasów starożytnych były dwie odpowiedzi na to pytanie. Po pierwsze, zakładano, że natura była niezwykle hojna, więc nic dziwnego, że w odległych częściach świata będziemy znajdować wiele nowych gatunków roślin i zwierząt. Odkrycia nowych form życia były po prostu wypełnianiem luk w tym, co przyrodnicy nazywali wielkim łańcuchem istot (z tą koncepcją zetknęliśmy się już w rozdziale 5). Ci, którzy wierzyli w łańcuch istot, przekonywali innych, że Bóg jest tak potężny, iż stworzył każdy organizm, który mógłby istnieć. Nie byli więc zdziwieni, kiedy znajdowano zwierzęta o cechach pośrednich między innymi gatunkami, takie jak wieloryby i delfiny, które wyglądały jak ryby, ale oddychały i rozmnażały się jak zwierzęta lądowe, albo nietoperze, które mają skrzydła i latają, więc wyglądają jak ptaki, ale nie składają jaj. Przyrodnicy sądzili, że wszystkie nietypowe cechy roślin i zwierząt można wyjaśnić jako elementy łańcucha istot. Na długo upowszechniła się koncepcja **brakującego ogniwa** w tym łańcuchu. Mówi się o nim, gdy naukowcy odnajdą nowe skamieliny.

Po drugie, zakładano, że Bóg kiedyś stworzył wszystkie rodzaje roślin i zwierząt, a różnorodność przyrody jest skutkiem tego, że kolejne pokolenia tych istot się rozmnażają. Dęby rodzą żołędzie, z których wyrastają młode drzewka, a koty mają młode, które dorastają i wydają na świat następne itd. W każdym pokoleniu, a także w setkach czy tysiącach pokoleń, drzewa i koty stają się coraz bardziej różnorodne. Zatem rozmaitość świata przyrody wynikała ze zmian pojawiających się z biegiem czasu, choć można było powiedzieć, że każda roślina i każde zwierzę ma w sobie coś z pierwotnego osobnika. Uważano, że stworzenie mapy wszystkich pierwotnych roślin i zwierząt ujawni boski plan, czyli wygląd **drzewa życia**.

W XVIII wieku poglądy dwóch przyrodników zdominowały myślenie o złożoności świata flory i fauny i odzwierciedlały te dwa różne podejścia o ich skomplikowanym charakterze. Pierwszym z nich był zamożny francuski szlachcic Georges-Louis Leclerc, hrabia Buffon (1707–1788), który poświęcił życie nauce. Część roku spędzał w swojej posiadłości, a resztę w Paryżu, gdzie zajmował się królewskimi ogrodami przypominającymi raczej dzisiejsze ogrody zoologiczne lub parki dzikiej przyrody. Od początku podziwiał Newtona, jego odkrycia matematyczne i fizyczne, ale przez większość życia badał świat przyrody. Jego celem było opisanie ziemi oraz wszystkich żyjących na niej roślin i zwierząt. Wyniki swoich sumiennych badań zebrał w liczącym aż 127 tomów dziele *Histoire naturelle* (*Historia naturalna*). W tamtych czasach „historia” oznaczała także „opis”. W tych rozprawach Buffon opisał wszystkie zwierzęta (i część roślin), do których mógł dotrzeć. Opisał ich anatomię, sposób poruszania się, odżywiania, rozmnażanie, a także możliwości wykorzystywania tych zwierząt przez człowieka. Była to nowoczesna próba obserwowania zwierząt w miarę możliwości

w ich naturalnym środowisku. W kolejnych tomach Buffon przedstawił wiele znanych ssaków, ptaków, ryb i gadów. Części tego monumentalnego dzieła ukazywały się przez blisko czterdzieści lat, począwszy od 1749 roku. Czytelnicy z niecierpliwością czekali na wydanie każdej następnej. Przetłumaczono je też na większość języków europejskich.

Buffon był zafascynowany cechami każdego zwierzęcia, które badał. Powiedział: „Natura zna tylko jednostki", co miało oznaczać, że w przyrodzie nie ma żadnego porządku, jedynie mnóstwo pojedynczych roślin i zwierząt. To ludzie usiłowali je sklasyfikować dla własnych potrzeb. Stwierdził, że w wielkim łańcuchu istot bogactwo przyrody objawiło się w pełnym rozkwicie, ale można badać tylko jedno stworzenie po drugim.

Wielkim rywalem Buffona był szwedzki lekarz i przyrodnik Carl von Linné (1707–1778), znany jako Karol Linneusz. Studiował medycynę, ale jego prawdziwą pasją były rośliny. Przez pół życia wykładał jako profesor na uniwersytecie w Uppsali, w północnej Szwecji, gdzie prowadził ogród botaniczny. Wielu swoich studentów wysłał w świat, aby zbierali dla niego okazy flory i fauny. Niektórzy z nich zmarli podczas egzotycznych wypraw, ale ich następcy pozostali oddani wielkiemu celowi Linneusza – nadania odpowiednich nazw wszystkim organizmom żywym na ziemi. Aby zaprowadzić porządek w tym nazewnictwie, Linneusz sklasyfikował rośliny i zwierzęta, biorąc pod uwagę ich pewne cechy. Dzięki temu mógł je umieścić w „porządku natury". W 1735 roku, będąc jeszcze dwudziestolatkiem, napisał krótkie dzieło *Systema naturae* (*System natury*). Była to w zasadzie długa lista wszystkich znanych gatunków roślin i zwierząt, pogrupowanych według rodzajów. W sumie ukazało się dwanaście wydań tego dzieła i za każdym razem Linneusz poszerzał listę w miarę, jak poznawał więcej ro-

ślin i zwierząt, zwłaszcza tych, które studenci znaleźli w Ameryce, Azji, Afryce i innych częściach świata.

Już w starożytnej Grecji przyrodnicy pytali, czy może istnieć naturalna klasyfikacja istot na ziemi. Czy między organizmami zachodzą ponadczasowe lub nadane im przez Boga relacje? A jeśli tak, to jak możemy je poznać? W czasach chrześcijańskich na ogół przyjmowano założenie, że na początku Bóg stworzył wszystkie gatunki roślin i zwierząt, aby Adam je nazwał, a to, co ludzie widzą wokół siebie, jest skutkiem upływu czasu i zachodzących zmian.

Linneusz przychylał się do tego poglądu, ale zdawał sobie sprawę z tego, jak wiele roślin i zwierząt zmieniło się od czasu ich stworzenia. Z tego powodu ustalenie naturalnej klasyfikacji stwarzało ogromne trudności. Uznał więc, że po pierwsze, są potrzebne pewne podstawowe zasady, które pozwolą uporządkować i sklasyfikować wszystko na świecie. Po drugie, chciał przypisać wszystkim tworom przyrody proste etykiety, aby łatwo było je identyfikować. Było to zadanie na całe życie. Linneusz uważał siebie za drugiego Adama nadającego stworzeniom precyzyjne nazwy. Jak zoologowie mogli dyskutować o gatunku psów albo botanicy o gatunku lilii, jeśli nie wiedzieli dokładnie, o jakim mówią? Linneusz sądził, że natura musiała zostać poszufladkowana, a gdy wszystko trafi do odpowiednich przegródek, będzie można zacząć uprawiać naukę.

Linneusz klasyfikował prawie wszystko: minerały, choroby, rośliny i zwierzęta. Systematyzując faunę, odważył się na śmiały krok – umieścił w tym systemie istoty ludzkie. Nadał gatunkowi ludzkiemu używaną do dziś nazwę *Homo sapiens*, czyli ‘człowiek myślący’. Wcześniej wielu przyrodników ograniczało się do tak zwanego świata natury i dlatego pomijało ludzi w systematyce. Linneusz, syn pastora, był głęboko wierzący. Podkreślił jednak, że nie widzi biologicz-

nych powodów, dla których ludzie nie należeliby do zwierząt, tak jak psy i małpy, i dlatego trzeba było ich uwzględnić w klasyfikacji.

Dla Linneusza w jego **taksonomii** (czyli klasyfikacji) najważniejsze były dwie kategorie: **rodzaj i gatunek**. Nazwę rodzaju zawsze pisał dużą literą, a gatunku małą (nadal tak robimy), jak *Homo sapiens*. Rodzaj to grupa roślin lub zwierząt mających pewne podstawowe cechy wspólne. Na przykład istnieje kilka gatunków kotów z rodzaju *Felis*, w tym kot domowy (*Felis catus*) i żbik (*Felis silvestris*). (W tamtych czasach wszyscy uczyli się łaciny w szkole, więc łatwo było im zrozumieć te nazwy. *Felis* znaczy ‘kot’, *catus* – ‘sprytny, zwinny’, a *silvestris* – ‘leśny’).

Linneusz wiedział, że mogą być różne stopnie podobieństwa lub różnic między żywymi istotami. Na szczycie systematyki umieścił trzy **królestwa**: roślin, zwierząt i minerałów. Dzieliły się one na **klasy**, takie jak kręgowce (zwierzęta z kręgosłupem: osły, jaszczurki itp.). Niżej były **rzędy**, takie jak ssaki (zwierzęta karmiące młode mlekiem). Niższymi jednostkami klasyfikacji były **rodzaje**, a następnie **gatunki**. Wśród zwierząt jednego gatunku występowały **odmiany**. W gatunku ludzkim te odmiany to **rasy**. Oczywiście istniały osobniki – pojedyncze osoby, rośliny i zwierzęta, które miały własne, specyficzne cechy, takie jak wysokość, płeć, kolor oczu, kolor włosów czy brzmienie głosu. Jednak osobników nie klasyfikuje się oddzielnie, tylko przypisuje do jakiejś grupy podlegającej klasyfikacji. Później naukowcy uznali, że systematykę Linneusza trzeba uzupełnić o dodatkowe jednostki systematyczne, takie jak rodziny, podrodziny i plemiona. Obecnie lwy, tygrysy i koty domowe należą do jednej rodziny kotów.

Wszystkie pojedyncze rośliny i zwierzęta składają się na żyjącą przyrodę. I to właśnie miał na myśli Buffon, gdy

upierał się, że pewna jest tylko podstawowa kategoria, czyli pojedynczy osobnik.

Naprawdę istotnym szczeblem systematyki dla Linneusza był gatunek. Przyrodnik opracował prosty system identyfikowania każdego gatunku roślin na podstawie męskich i żeńskich części kwiatów. Dzięki temu botanik amator, przemierzając lasy i pola, mógł rozpoznać napotkane rośliny. Mimo że system identyfikacji według organów płciowych dotyczył tylko roślin, zbulwersowało to niektórych, a jeszcze innych zainspirowało do ułożenia łagodnych erotyków. Najważniejsze jednak, że klasyfikacja roślin Linneusza dobrze sprawdzała się w praktyce. Przyspieszyło to rozwój botaniki. Po śmierci uczonego jego najciekawsze kolekcje roślin kupił zamożny Anglik, który założył Towarzystwo Linneuszowskie w Londynie. Działa ono do dziś, czyli już ponad dwieście lat.

Wiele nazw zaproponowanych przez Linneusza do identyfikowania roślin i zwierząt obowiązuje nadal. Jedną z nich jest rząd *Primates* (naczelne) obejmujący ludzi. Należą do niego również małpy, małpiatki, lemury i inne zwierzęta o podobnych cechach. Linneusz nie wierzył, że jeden gatunek może wyewoluować w inny. Był przekonany, że Bóg specjalnie stworzył osobne gatunki roślin i zwierząt. Uczony zdał sobie jednak sprawę z tego, że człowiek jest częścią natury i reguły, które stosujemy do badania świata przyrody, można również wykorzystać do lepszego zrozumienia ludzkości. To, czy jest to gatunek biologiczny, niezmiennie intrygowało przyrodników. I nadal intryguje. Jednak sto lat później systematyka Linneusza została nieco zmieniona przez innego przyrodnika i miłośnika roślin – Karola Darwina. Ale o nim opowiemy w rozdziale 25.

ROZDZIAŁ 20

Powietrze i gazy

„Powietrze” jest bardzo starym słowem, „gaz” znacznie nowszym, bo mającym zaledwie kilkaset lat. Przejście od powietrza do gazów stanowiło przełomowe osiągnięcie w nauce. Dla starożytnych Greków powietrze było jednym z czterech żywiołów, po prostu jedną „rzeczą”. Ich sposób postrzegania został jednak zakwestionowany dzięki eksperymentom Roberta Boyle’a w XVII wieku. Wtedy uczeni zaczęli sobie uświadamiać, że otaczające nas powietrze, którym wszyscy oddychamy, składa się z więcej niż jednej substancji. Od tamtej pory było znacznie łatwiej zrozumieć, na czym polegają różne doświadczenia chemiczne. W wielu eksperymentach pojawiały się bąbelki albo podmuch, który rozpływał się w powietrzu. Czasami wydawało się, że doświadczenia zmieniają powietrze. Chemicy często wytwarzają amoniak, powodujący łzawienie oczu, albo siarkowodór, śmierdzący zgniłymi jajkami. Póki jednak nie byli w stanie zbierać gazów, trudno im było stwierdzić, jak zachodzi reakcja chemiczna. Isaac Newton pokazał, jak ważne są po-

miary, ale trudno jest zmierzyć gaz, jeśli ucieka on do atmosfery.

Chemicy musieli zatem znaleźć sposób „łapania” gazów. Najpopularniejszą metodą było przeprowadzanie doświadczeń w małej, zamkniętej przestrzeni, takiej jak pudełko. Za pomocą węża łączono je z odwróconym pojemnikiem całkowicie wypełnionym wodą. Jeśli gaz nie rozpuszczał się w wodzie (a niektóre gazy się w niej nie rozpuszczają), bąbelki gromadziły się na górze pojemnika, spychając wodę na dół. Pomysłowy pastor Stephen Hales (1677–1761) skonstruował bardzo skuteczną aparaturę do zbierania gazów nad wodą. Przez większość swego długiego życia pełnił funkcję wikarego w Teddington, obecnie dzielnicy Londynu. Był skromnym i małomównym człowiekiem, a przy tym ciekawym świata niestrudzonym eksperymentatorem. Niektóre z jego doświadczeń były okrutne, na przykład mierzył ciśnienie krwi koni, owiec i psów za pomocą rurki włożonej bezpośrednio do arterii. Rurka połączona była z długą szklaną rurą. Pastor patrzył, jak bardzo podniesie się słupek krwi, którego wysokość wskazywała ciśnienie. W przypadku koni szklana rura musiała mieć aż 2,7 metra wysokości, aby krew nie przelała się górą.

Hales badał także ruchy soków roślinnych i mierzył wzrost różnych części roślin. W tym celu w regularnych odstępach rysował atramentem małe kropki na łodygach i liściach, a następnie notował odległości między nimi w czasie, gdy roślina wzrastała. W ten sposób wykazał, że nie wszystkie części roślin rosną w tym samym tempie. Użył swojego aparatu do zbierania gazów, aby sprawdzić, jak rośliny reagują na różne warunki. Przekonał się, że „oddychają” powietrzem. W 1727 roku w książce *Vegetable Staticks* (*Statyka roślin*) położył podwaliny pod późniejsze odkrycie fotosyntezy, czyli procesu, w którym rośliny wykorzystują światło sło-

neczne jako źródło energii, aby zmienić dwutlenek węgla i wodę w cukry i skrobię, uwalniając przy tym tlen. To jeden z najważniejszych procesów na naszej planecie. Nie wyprzedzajmy jednak faktów, gdyż w tamtych czasach nikt jeszcze nie słyszał o tlenie.

Pamiętasz słowo *pneuma* z rozdziału 6? „Pneumatyczny" oznacza 'dotyczący powietrza', a chemia pneumatyczna była jedną z najważniejszych gałęzi XVIII-wiecznej nauki. Jednak od lat trzydziestych XVIII wieku powietrze przestano traktować jako jedną „substancję". Wiadomo było, że nie jest ono jednorodne, tzn. jest mieszaniną kilku rodzajów „powietrza". Ponadto naukowcy odkryli, że w odpowiednich warunkach większość substancji może zmienić postać na gazową.

Stephen Hales pokazał, że rośliny, tak jak zwierzęta, potrzebują powietrza. Przez to „powietrze" rozumiał gaz, który uwalniał się przy spalaniu dowolnej rzeczy. Szkocki lekarz i chemik Joseph Black (1728–1799) zebrał to „powietrze" (które nazwał „związanym powietrzem") i udowodnił, że choć rośliny mogą w nim żyć i je wykorzystywać, to zwierzęta, umieszczone w pojemniku wypełnionym tylko „związanym powietrzem", umierają. Potrzebowały czegoś innego do oddychania. Dziś wiemy, że „związane powietrze" to dwutlenek węgla (CO_2) odgrywający ważną rolę w cyklu życia roślin i zwierząt. (To także gaz cieplarniany, czyli główna przyczyna efektu cieplarnianego prowadzącego do globalnego ocieplenia klimatu).

Henry Cavendish (1731–1810), nieprzepadający za towarzystwem arystokrata, spędził większość życia w prywatnym laboratorium w swoim londyńskim domu, eksperymentując i dokonując różnych pomiarów. Odkrył więcej właściwości „związanego powietrza" i zebrał inne „powietrze" – bardzo lekkie i eksplodujące po podłożeniu iskry w obecno-

ści zwykłego powietrza. Nazwał je „łatwopalnym powietrzem”. Dziś wiemy, że był to wodór. Okazało się, że ciecz powstała w wyniku tej eksplozji, to zwykła woda. Cavendish badał również inne gazy, takie jak azot.

Nikt nie odniósł równie wielkich sukcesów w chemii pneumatycznej jak Joseph Priestley (1733–1804). Ten niezwykły pastor wydał książki o religii, edukacji, polityce i historii elektryczności. Został unitarianinem, czyli członkiem grupy protestanckiej wierzącej, że Jezus był tylko wspaniałym nauczycielem, nie Synem Bożym. Priestley jako materialista uczył, że wszystkie rzeczy w przyrodzie można wytłumaczyć przez reakcje materii oraz że nie ma potrzeby istnienia ducha czy duszy. W pierwszych dniach rewolucji francuskiej, którą popierał, jego dom w Birmingham został podpalony przez ludzi obawiających się, że liberalne poglądy religijne i społeczne, takie jak jego, mogą doprowadzić do wybuchu rewolucji także na Wyspach Brytyjskich. Priestley uciekł do Stanów Zjednoczonych, gdzie spędził ostatnie dziesięć lat życia.

Ten niezwykły pastor był też chemikiem. Użył „związanego powietrza” do zrobienia wody sodowej, więc pamiętaj o nim, gdy następnym razem będziesz pić napój gazowany. Zidentyfikował kilka nowych gazów i – jak wszyscy chemicy pneumatyczni – zastanawiał się, co się dzieje, gdy coś się pali. Wiedział, że pewną rolę w procesie spalania odgrywa powietrze i że istnieje taki jego rodzaj, który powoduje intensywniejsze spalanie niż zwykły gaz. Uzyskiwał to „powietrze”, podgrzewając substancję, którą znamy jako tlenek rtęci, i zbierając gaz w kąpieli wodnej. Udowodnił, że zwierzęta mogą żyć, oddychając tym „powietrzem”, tak jak rośliny w „związanym powietrzu”. To nowe „powietrze” miało jednak specjalną właściwość – było pierwiastkiem uczestniczącym w wielu reakcjach chemicznych, a także w oddycha-

niu i spalaniu. Sądził, że jest to substancja zwana flogistonem i zawierają ją wszystkie palne przedmioty, a podczas spalania ją uwalniają. Gdy powietrze wokół nich nasyci się już flogistonem, palenie ustaje.

Wielu chemików wykorzystywało koncepcję flogistonu do wyjaśniania, co się dzieje podczas spalania i dlaczego niektóre rodzaje „powietrza” powodują, że przedmioty w zamkniętym pojemniku palą się przez pewien czas, a później gasną. Gdy podpali się kawałek ołowiu, produkt spalania (to, co zostaje) będzie cięższy od użytego metalu. Z tego wynikałoby, że flogiston, który ponoć miał być zawarty w ołowiu i uwalniać się podczas spalania, musiałby mieć ujemną wagę. Powodowałby zatem, że nasycone nim przedmioty byłyby lżejsze od tych, które go nie zawierają.

Produkty spalania materii przeważnie są gazowe, więc trudno je zebrać i zważyć. Na przykład, kiedy podpalimy kawałek drewna, produkt spalania, czyli popiół, jest znacznie lżejszy od samego drewna. Nietrudno więc zrozumieć, dlaczego Priestley myślał, że przedmioty zawierające flogiston ważą mniej niż te bez niego. W tej koncepcji flogiston zajął miejsce gazu zwanego tlenem, z tym że miał dokładnie przeciwne właściwości! Według Priestleya spalana materia uwalniała flogiston i stawała się lżejsza. My powiedzielibyśmy dziś, że łączyła się z tlenem i gdy zachodziła taka reakcja, jej produkty robiły się cięższe. Priestley sądził, że w szczelnym zamkniętym pojemniku ze zwykłym powietrzem świeca gaśnie, mysz lub ptak umiera, ponieważ powietrze nasyciło się flogistonem. My wiemy, że dzieje się tak, dlatego że skończył się tlen. Ten przykład uzmysławia nam fakt, że można starannie przeprowadzić doświadczenia, wszystko dokładnie mierząc, ale wyniki wyjaśnić na różne sposoby.

Człowiek, który nadał nazwę „tlen”, do dziś uchodzi za ojca współczesnej chemii. Był to Francuz Antoine Laurent de Lavoisier (1743–1794). Zginął tragiczną śmiercią podczas rewolucji francuskiej: został aresztowany, skazany i stracony na gilotynie, ale nie dlatego, że był chemikiem, tylko poborcą podatkowym. W przedrewolucyjnej Francji bogaci ludzie, którzy zostawali poborcami podatkowymi, płacili państwu pewne sumy, a następnie odzyskiwali pieniądze, przeprowadzając zbiórkę podatków. System był zły, ale nie ma dowodów na to, by Lavoisier go nadużył. Poświęcił nawet sporo czasu, prowadząc badania naukowe i techniczne dla państwa, aby znaleźć odpowiedzi na ważne pytania dotyczące manufaktur i rolnictwa. Jednak pochodził z rodziny arystokratycznej, a przywódcy rewolucji nienawidzili tej warstwy społecznej, za co zapłacił głową.

Lavoisier, podobnie jak Priestley, Cavendish i inni chemicy pneumatyczni, był zapalonym eksperymentatorem. Stworzył wiele nowych sprzętów badawczych. Pomagała mu w tym żona. Madame Lavoisier to ważna postać w świecie nauki. Marie-Anne Pierrette Paulze (1758–1836) wyszła za mąż za Lavoisiera, mając zaledwie czternaście lat (on miał dwadzieścia osiem). Pracowali razem w laboratorium, przeprowadzając doświadczenia, robiąc pomiary i notując wyniki. Ponadto madame Lavoisier była uroczą gospodynią domu. Wraz z mężem zabawiała wykształconych gości, którzy omawiali najnowsze dokonania naukowe i wynalazki techniczne. Lavoisierowie tworzyli udane małżeństwo.

Lavoisier już w szkole uwielbiał naukę. Jako dziecko miał bystry umysł i ambicje badawcze. Następnie, jak większość ówczesnych studentów chemii, dorastał w świecie aprobującym koncepcję flogistonu, ale wykazał, że ma ona wiele wad logicznych i eksperymentalnych. Zadbał o możliwie jak najlepszą aparaturę do przeprowadzania doświadczeń.

Wraz z żoną projektował nowy sprzęt laboratoryjny, zawsze mając na uwadze udoskonalenie dokładności wyników przeprowadzanych badań chemicznych. Lavoisier korzystał z bardzo dokładnej wagi do mierzenia ciężaru substancji używanych w eksperymentach. Kilka różnych rodzajów doświadczeń naukowych przekonało go, że waga produktów spalania jest większa od wagi spalanych substancji. Wymagało to zbierania i ważenia gazów powstających podczas takich procesów.

Lavoisier kontynuował także badania nad oddychaniem ludzi i zwierząt. Te eksperymenty upewniły go, że gaz uczestniczący w spalaniu i oddychaniu jest pojedynczym, rzeczywistym pierwiastkiem, a nie jakiegoś rodzaju substancją, jak flogiston. Ten pierwiastek był też niezbędny do tego, aby powstawały kwasy. Chemików od dawna fascynowały reakcje chemiczne kwasów i zasad (czasami zwane „podstawowymi"). Pamiętasz papierek lakmusowy wynaleziony przez Roberta Boyle'a? Lavoisier poszedł tą samą drogą. Sądził, że tlen jest tak ważnym składnikiem kwasów, że zawsze go zawierają. Dziś wiemy, że jest inaczej (jeden z najsilniejszych kwasów – kwas solny – zawiera wodór i chlor, ale nie zawiera tlenu). Jednak większość tego, co Lavoisier powiedział o tlenie, potwierdziło się. Wiemy, że ten pierwiastek uczestniczy w spalaniu i oddychaniu oraz że te dwa pozornie różne procesy mają ze sobą wiele wspólnego. Ludzie wykorzystują tlen do „spalania", czyli przetwarzania cukrów i innych składników pokarmu, aby dostarczyć organizmowi energii niezbędnej do wykonywania codziennych funkcji.

Lavoisierowie kontynuowali doświadczenia chemiczne w latach osiemdziesiątych XVIII wieku, a w 1789 roku, w przededniu rewolucji francuskiej, Lavoisier opublikował

swoje najważniejsze dzieło *Traité Élémentaire de Chimie* (*Traktat podstawowy chemii*). To pierwszy nowoczesny podręcznik chemii, z mnóstwem informacji o doświadczeniach i sprzęcie oraz refleksjami na temat natury pierwiastka chemicznego. **Pierwiastkiem chemicznym** nazywamy substancję, której nie da się rozłożyć na inne na drodze reakcji chemicznych. **Związek chemiczny** to połączenie kilku pierwiastków i za pomocą odpowiedniej reakcji można go rozłożyć. Na przykład woda jest związkiem chemicznym zbudowanym z dwóch pierwiastków: wodoru i tlenu. To rozróżnienie na pierwiastki i związki chemiczne legło u podstaw dzieła Lavoisiera. Jego lista pierwiastków, czyli „substancji prostych", nie obejmowała wszystkich obecnie znanych pierwiastków chemicznych, ponieważ wówczas wiele jeszcze nie zostało odkrytych. Za to znalazły się na niej zaskakujące rzeczy, takie jak światło i ciepło. Lavoisier pomógł zrozumieć różnicę między pierwiastkiem a związkiem chemicznym.

Równie istotna była jego wiara w to, że język chemii musi być precyzyjny. Lavoisier wraz z kilkoma kolegami zreformował ten język, dowodząc, że aby skutecznie uprawiać naukę, trzeba się posługiwać precyzyjnymi słowami. (Linneusz by się z tym zgodził). Chemicy muszą być w stanie wskazać pierwiastki i związki chemiczne zastosowane w eksperymentach, aby dowolny inny chemik gdziekolwiek na świecie wiedział, jakich ma użyć substancji. Lavoisier napisał: „Myślimy tylko za pomocą słów". Po nim chemicy coraz częściej używali wspólnego języka.

ROZDZIAŁ 21

Drobiny materii

Atomy miały dość fatalną reputację. Pamiętasz starożytnych Greków, których koncepcja zakładała, że atomy poruszają się bezładnie i bezcelowo jako jedne z elementów wszechświata? Dlaczego zatem dziś wydaje nam się tak naturalne, że wszystko składa się z atomów?

Współczesny „atom” to twór umysłu wysoce szanowanego kwakra (członka protestanckiej grupy wyznaniowej) Johna Daltona (1766–1844). Ojciec Daltona był tkaczem. Posłał jednak syna do dobrej pobliskiej szkoły, ponieważ chłopiec przejawiał zdolności matematyczne i zamiłowanie do nauki. Sukcesy odnoszone na polu edukacji, zwłaszcza matematycznej, zachęciły go do realizowania dalszych ambicji naukowych. Dalton osiedlił się w położonym niedaleko rodzinnego miasta Manchesterze, który szybko rozwijał się w czasach rewolucji przemysłowej. Zaczęły w nim dominować fabryki produkujące różnorakie dobra. Dalton pracował jako wykładowca i prywatny nauczyciel. Jako pierwszy prowadził odczyty na temat ślepoty barw, opierając się na własnych

doświadczeniach życiowych – dlatego zaburzenie rozpoznawania barw nazywano właśnie daltonizmem. Jeśli znasz kogoś z tą przypadłością, to zapewne jest to chłopiec, ponieważ dziewczynki rzadziej na nią cierpią.

W Manchesterskim Towarzystwie Literackim i Filozoficznym Dalton czuł się jak w domu. Jego aktywni członkowie tworzyli rodzaj rodziny tego nieśmiałego mężczyzny, który nigdy się nie ożenił. Było to jedno z wielu stowarzyszeń założonych pod koniec XVIII wieku w wielu miastach Europy i Ameryki Północnej. Benjamin Franklin, badacz elektryczności, był na przykład jednym z założycieli Amerykańskiego Towarzystwa Filozoficznego w Filadelfii. Oczywiście filozofia naturalna była tym, co dziś nazywamy nauką. Przymiotnik „literackie” w nazwie manchesterskiego towarzystwa przypomina nam, że nauki nie oddzielano od innych obszarów intelektualnej aktywności. Członkowie tej elitarnej grupy zbierali się, aby posłuchać odczytów na różne tematy – od sztuk Szekspira przez archeologię po chemię. Epoka specjalizacji, gdy chemicy rozmawiali głównie z innymi chemikami, a fizycy ze swoimi kolegami po fachu, miała nadejść dopiero w przyszłości. Jakże ekscytujące musiały być tak szerokie zainteresowania!

Dalton był czołową postacią życia naukowego Manchesteru i jego prace stopniowo zaczęto doceniać też w Europie i Ameryce Północnej. Uczony przeprowadził ważne eksperymenty chemiczne, ale sławę zapewniła mu koncepcja chemicznego atomu. Wcześniej chemicy dowiedli, że substancje chemiczne reagują ze sobą w przewidywalny sposób. Gdy wodór spala się w zwykłym powietrzu zawierającym tlen, produktem reakcji jest zawsze woda, a jeśli się dokona precyzyjnych pomiarów, widać, że proporcje obu gazów, łączących się i tworzących wodę, są zawsze takie same. (Nie próbuj tego w domu, ponieważ wodór jest łatwopalny

i może eksplodować). Ten sam rodzaj powtarzalności obserwowano w innych doświadczeniach chemicznych z gazami, cieczami i ciałami stałymi. Ale dlaczego?

W poprzednim stuleciu Lavoisier mówił to tym, że pierwiastki są podstawowymi jednostkami materii i po prostu nie da się ich rozbić na mniejsze części. Tę najmniejszą jednostkę materii Dalton nazwał **atomem**. Twierdził, że wszystkie atomy danego pierwiastka są identyczne, ale różnią się od atomów innych pierwiastków. Sądził, że atomy to bardzo małe, stałe cząstki materii, otoczone ciepłem. To ciepło miało służyć atomom i związkom chemicznym, które tworzyły, do łączenia się z innymi atomami i mogło przyjmować różne stany. Na przykład atomy wodoru i tlenu mogły przejść w stan stały, czyli lód (gdy miały najmniej ciepła), ciecz lub gaz (gdy miały go najwięcej).

Dalton zrobił modele swoich atomów. Wyciął je z kartonu i umieścił na nich symbole. Dzięki temu oszczędzał miejsce (i czas), gdy wypisywał nazwy substancji chemicznych i ich reakcje. Początkowo jego system wydawał się zbyt dziwny, aby można go było wykorzystywać w praktyce, ale okazał się na tyle dobry, że chemicy stopniowo zaczęli używać inicjałów łacińskich nazw jako symboli pierwiastków (a zatem i daltonowskich atomów). Dlatego wodór to H, tlen – O, a węgiel – C. Czasami trzeba było użyć dwóch liter, aby uniknąć pomyłek, na przykład odkryty później hel nie mógł już mieć symbolu H, więc wybrano He.

Największą zaletą teorii atomów Daltona jest to, że dzięki niej chemicy mogli poznawać właściwości tych drobin materii, których nigdy nawet nie widzieli. Jeżeli wszystkie atomy pierwiastka są identyczne, to muszą ważyć tyle samo, więc chemicy mogli zmierzyć masę jednego rodzaju atomów i porównać ją z innymi. Za pomocą tych względnych proporcji mogli ustalić, ile jest atomów poszczególnych pierwiastków

w związku chemicznym. (Dalton nie mógł określić ciężaru pojedynczego atomu, więc porównywał tylko masę jednych atomów z masą drugich). Był pionierem w tej dziedzinie, ale nie zawsze miał rację. Na przykład założył, że gdy z połączenia wodoru i tlenu powstaje woda, to w reakcji bierze udział jeden atom wodoru i jeden atom tlenu. Opierając się na starannych pomiarach, przypisał wodorowi masę atomową 1 (wodór był najlżejszym znanym pierwiastkiem), a tlenowi – 7, więc proporcja wagowa wodoru do tlenu w wodzie wyniosła 1:7. Dalton zawsze zaokrąglał masy atomowe do wartości całkowitych, a ze względnych proporcji, którymi się posługiwał, wynikało, że miał rację. W rzeczywistości jednak proporcja wagowa pierwiastków w wodzie jest bliższa wartości 1:8. Ponadto wiemy, że w cząsteczce wody są dwa atomy wodoru, więc stosunek mas atomowych wodoru do tlenu wynosi 1:16. Tlen w rzeczywistości ma masę atomową równą 16, a wodór – 1, tak jak wyliczył Dalton. Atomy wodoru są nie tylko najlżejsze, ale też najbardziej rozpowszechnionymi atomami we wszechświecie.

Teoria atomistyczna Daltona nadawała sens reakcjom chemicznym, gdyż pokazywała, jak pierwiastki, czyli atomy, łączą się ze sobą w określonych proporcjach. Dzieje się tak, kiedy wodór i tlen tworzą wodę, węgiel i tlen – dwutlenek węgla, a azot i wodór – amoniak. Taka regularność i spójność, a także wzrastająca dokładność narzędzi pomiarowych spowodowały, że w XIX wieku chemia stała się nowoczesną nauką. Teoria Daltona stanowiła jej fundament.

W historii nowoczesnej chemii zapisał się też Humphry Davy (1778–1829). W odróżnieniu od spokojnego Daltona lubił być w centrum uwagi i miał aspiracje towarzyskie. Tak jak Dalton wywodził się z klasy pracującej i chodził do dobrej lokalnej szkoły w Kornwalii. Miał też szczęście. Praktykował u miejscowego medyka, który szkolił go na lekarza

rodzinnego. Korzystając z jego biblioteczki, Davy nauczył się chemii (i języków obcych). Gdy przeniósł się do Bristolu, został asystentem w specjalnej instytucji medycznej, w której pacjentów leczono różnymi gazami. Pracując tam, eksperymentował z podtlenkiem azotu. Ten związek chemiczny wywołuje wesołość u osób, które go wdychają, i dlatego nazywa się go gazem rozweselającym. Wydana w 1800 roku książka Davy'ego o gazach wzbudziła sensację, ponieważ podtlenek azotu stał się pewnego rodzaju używką i zapanowała moda na organizowanie przyjęć, na których się nim raczono. Davy odnotował także, że osoby wdychające ten gaz nie czują bólu, i zaproponował podawanie go leczonym pacjentom. Dopiero po czterdziestu latach lekarze zastosowali się do jego sugestii. Podtlenek azotu wciąż bywa używany jako środek przeciwbólowy przez dentystów i innych lekarzy.

Davy mógł zaspokoić swoje ambicje tylko w stołecznej metropolii. Gdy nadarzyła się okazja, przeniósł się do Londynu i został wykładowcą chemii w Królewskim Instytucie Wielkiej Brytanii, organizacji upowszechniającej naukę wśród klasy średniej. Tam rozkwitł jego talent showmana, a odczyty na temat chemii przyciągały tłumy widzów. Wówczas ludzie często chodzili na prelekcje zarówno po to, by zdobyć wiedzę, jak i dla rozrywki. Davy został profesorem Królewskiego Instytutu i rozwinął prace badawcze. Wraz z innymi chemikami wpadł na pomysł, jak można zastosować stos elektryczny Volty, czyli pierwszą baterię. W tym celu rozpuszczał związki chemiczne w cieczach, a następnie przez roztwór generowany przez stos przepuszczał prąd elektryczny i badał, co się stanie. Po wielu takich doświadczeniach stwierdził, że pierwiastki i związki chemiczne są przyciągane przez ujemny lub dodatni koniec (biegun) stosu. Tą metodą zidentyfikował kilka nowych pierwiastków, na przy-

kład sód i potas, które gromadziły się na ujemnej elektrodzie. Sód występuje w chlorku sodu, czyli zwykłej soli kuchennej nadającej słony smak potrawom i wodzie morskiej. Po odkryciu nowych pierwiastków Davy mógł eksperymentować z nimi i ustalać ich względne masy atomowe.

Stos Volty z dodatnim i ujemnym biegunem zmienił sposób myślenia chemików o atomach i związkach chemicznych. Dodatnio naładowane cząstki były przyciągane przez ujemny biegun, a ujemnie naładowane – przez dodatni. Pozwoliło to wyjaśnić, dlaczego pierwiastki mają pewne naturalne tendencje do łączenia się ze sobą. Szwedzki chemik Jöns Jacob Berzelius (1779–1848) uczynił z tego faktu kluczowy element **stechiometrii** – słynnej teorii przemian związków chemicznych w reakcjach chemicznych. Berzelius miał ciężkie dzieciństwo. Jego rodzice zmarli, kiedy był mały, i wychowywali go różni krewni. Gdy dorósł, został jednym z najbardziej wpływowych chemików w Europie. Odkrył radość płynącą z badań chemicznych, gdy uczył się medycyny. Był w stanie utrzymać się z pracy chemika w Sztokholmie, gdzie zamieszkał. Często podróżował, zwłaszcza do Paryża i Londynu, które wówczas były ekscytującymi miejscami dla chemików.

Berzelius, podobnie jak Davy, używał stosu Volty, by obserwować zachowanie związków chemicznych w roztworach. W ten sposób odkrył kilka kolejnych pierwiastków i opublikował wykaz wszystkich pierwiastków z jeszcze dokładniejszymi masami atomowymi. Ustalał je, starannie analizując względne wagi substancji reagujących i tworzących nowe związki albo ulegających rozkładowi związków chemicznych, a następnie ważąc produkty tych reakcji. W tablicy chemicznej, opracowanej przez niego w 1818 roku, znalazły się masy atomowe czterdziestu pięciu pierwiastków, przy czym wodór wciąż miał masę atomową równą 1. Berzelius

podał też skład ponad dwóch tysięcy związków chemicznych. To on spopularyzował wymyśloną przez Daltona konwencję zapisu, zgodnie z którą pierwiastki oznacza się pierwszą literą lub dwiema pierwszymi literami ich łacińskiej nazwy, na przykład C to węgiel, Ca wapń itd. Dzięki temu język zapisu reakcji chemicznych stał się łatwiejszy do zrozumienia. Jeśli związek chemiczny zawierał więcej niż jeden atom danego pierwiastka, Berzelius podawał ich liczbę po literowym skrócie jego nazwy. Dziś naukowcy umieszczają tę liczbę w indeksie dolnym i na przykład O_2 oznacza cząsteczkę składającą się z dwóch atomów tlenu. Poza tym Berzelius zapisywał reakcje chemiczne mniej więcej tak samo, jak robimy to współcześnie.

Berzelius znacznie lepiej sobie radził ze związkami nieorganicznymi niż z organicznymi. Związki **organiczne** to te, które zawierają węgiel i są związane z istotami żywymi, na przykład cukry i białka. Zwykle są one bardziej skomplikowane od nieorganicznych i mają tendencję do reagowania w inny sposób niż kwasy, sole i minerały, przeważnie będące przedmiotem badań Berzeliusa. Szwed uważał, że reakcji chemicznych zachodzących w naszych organizmach (albo innych istot żywych, takich jak drzewa czy krowy) nie da się wyjaśnić w ten sam sposób jak tych zachodzących w laboratoriach. Za jego życia chemia organiczna rozwijała się we Francji i w Niemczech i choć dystansował się od tamtejszych chemików, miał swój wkład w ich badania. Po pierwsze, wprowadził słowo **proteina** na jeden z najważniejszych związków organicznych, czyli białko. Po drugie, uświadomił sobie, że wiele reakcji chemicznych dochodzi do skutku tylko w obecności trzeciej substancji, którą nazwał **katalizatorem**. Substancja ta pomaga w reakcji – często ją przyspiesza – ale sama nie ulega w niej zmianie w odróżnieniu od innych związków chemicznych, które się łączy-

ły lub rozpadały. W przyrodzie występuje wiele katalizatorów i zrozumienie, jak działają, było celem wielu chemików od czasów Berzeliusa.

Pojęcie atomu pomogło europejskim chemikom w zrozumieniu wielu zagadnień, ale wciąż było jeszcze mnóstwo zagadek do rozwiązania. W 1811 roku włoski fizyk Amedeo Avogadro (1776–1856) sformułował śmiały pogląd. Był on tak zaskakujący, że chemicy odrzucali go przez prawie czterdzieści lat. Avogadro oświadczył, że liczba cząsteczek dowolnego gazu w ustalonej objętości w tej samej temperaturze jest zawsze taka sama. Hipoteza Avogadra, jak ją wówczas nazwano, miała poważne konsekwencje. Oznaczała, że ciężar molekularny gazów można obliczyć bezpośrednio, stosując opracowany przez naukowca wzór. Prawo (czy też hipoteza) Avogadra pomogło zmodyfikować teorię atomową Daltona, ponieważ wyjaśniało nietypową właściwość jednego z najczęściej badanych gazów – pary wodnej. Chemicy długo nie mogli zrozumieć, dlaczego nie zgadza się objętość wodoru i tlenu w określonej ilości pary wodnej przy założeniu, że cząsteczkę wody tworzą jeden atom wodoru i jeden atom tlenu. Okazało się, że w parze wodnej na każdy atom tlenu przypadają dwa atomy wodoru. Chemicy odkryli, że w przyrodzie wiele gazów, w tym wodór i tlen, występuje nie w postaci atomowej, a w cząsteczkowej (zbudowanych z co najmniej dwóch atomów), jak H_2 i O_2.

Jeśli wierzyło się w teorię atomową Daltona i koncepcję dodatnich lub ujemnych atomów pierwiastków Berzeliusa, wydawało się, że twierdzenie Avogadra nie ma sensu. Jak dwa ujemne atomy tlenu mogłyby się ze sobą związać? Dlatego hipotezę Avogadra przez długi czas odrzucano. Jednak znacznie później okazało się, że doskonale pasuje ona do innych elementów chemicznej układanki i dziś jest jednym z fundamentalnych praw chemii. W nauce często tak bywa,

że wszystkie fragmenty wiedzy zaczynają do siebie pasować dopiero po jakimś czasie i wtedy wszystko nabiera sensu.

ROZDZIAŁ 22

Siły, pola i magnetyzm

Teoria atomistyczna Daltona stała się fundamentem współczesnej chemii, ale były też inne sposoby patrzenia na te najmniejsze elementy materii. Przede wszystkim atomy potrafią coś więcej, niż tylko łączyć się w związki chemiczne. Jednak nie wchodzą tak po prostu w reakcje chemiczne. I Davy, i Berzelius w sprytny sposób wykorzystali fakt, że atomy w roztworze przyciąga dodatni lub ujemny biegun, jeśli przez roztwór przepuszcza się prąd elektryczny (atomy były też częścią „elektryczności”). Dlaczego jednak w roztworze soli morskiej sód miałby się przemieszczać w kierunku ujemnego bieguna, a chlor – dodatniego?

Na początku XIX wieku takie kwestie wzbudzały gorące dyskusje. Jednym z ważniejszych poszukiwaczy odpowiedzi na te pytania był dość niezwykły człowiek – Michael Faraday (1791–1867). Urodził się w przeciętnej rodzinie i odebrał tylko podstawową edukację. W młodości uczył się introligatorstwa, ale pokochał naukę i większość wolnego czasu poświęcał czytaniu wszystkiego, co na jej temat wpa-

dło mu w ręce. Popularna książka dla dzieci o chemii rozpaliła jego wyobraźnię, a klient zakładu introligatorskiego, w którym Faraday pracował, zaoferował mu bilet na odczyt Humphry'a Davy'ego w Królewskim Instytucie. Faraday wysłuchał wykładu z zachwytem, robiąc dokładne notatki bardzo starannym pismem. Pełen zapału pokazał je Davy'emu. Ich skrupulatność zrobiła na nim wrażenie, ale wyraził opinię, że w nauce nie ma posad, a introligatorstwo jest lepszym fachem dla kogoś, kto chce zarabiać na życie.

Jednak niedługo później potrzebny był ktoś na stanowisko asystenta w Królewskim Instytucie i Davy zaproponował tę pracę Faradayowi. Ten ją przyjął i pozostał w tej placówce do końca życia, starając się uczynić z niej zyskowną organizację o dobrej reputacji. Na początku swojej kariery rozwiązywał problemy chemiczne związane z pracą Davy'ego. Świetnie sobie radził w laboratorium, ale nie rezygnował też z czytania o ogólniejszych zagadnieniach naukowych. Był także bogobojnym członkiem pewnej grupy protestantów. Wiele czasu poświęcał działalności kościelnej, a wiara kierowała jego poszukiwaniami naukowymi. Po prostu wierzył, że Bóg stworzył wszechświat taki, jaki jest, ale ludzie są w stanie zrozumieć, jak wszystko w nim do siebie pasuje.

Wkrótce po zatrudnieniu Faradaya w Królewskim Instytucie Davy ze świeżo poślubioną żoną udali się w podróż po Europie i zabrali go ze sobą. Wywodząca się z arystokracji żona Davy'ego traktowała Faradaya jak służącego, ale podczas osiemnastomiesięcznej podróży Michael spotkał wiele czołowych postaci nauki w Europie. Po powrocie do Londynu Faraday i Davy kontynuowali pracę nad różnymi problemami praktycznymi. Zajmowali się między innymi tym, co powoduje wybuchy w kopalniach, jak ulepszyć miedziane dna statków i jakie są właściwości optyczne światła. W miarę jak Davy'ego coraz bardziej pochłaniała polityka nauko-

wa, Faraday w coraz większym stopniu stawał się samodzielnym pracownikiem naukowym. Jego uwagę przykuła zależność między elektrycznością a magnetyzmem.

W 1820 roku duński fizyk Hans Christian Ørsted (1777–1851) odkrył elektromagnetyzm (taki sposób manipulowania prądem elektrycznym, aby powstało pole magnetyczne). Magnetyzm był od dawna znany, a kompas, ze wskazującą północ żelazną igłą, wciąż okazywał się przydatny. Nawigatorzy posługiwali się nim na długo przed odkryciem Ameryki przez Krzysztofa Kolumba, a uczeni zastanawiali się, dlaczego tylko niektóre substancje, takie jak żelazo, można magnetyzować, bo większość przedmiotów była obojętna wobec tego typu zabiegów. Fakt, że kompasy zawsze wskazywały ten sam kierunek, oznaczał, że sama Ziemia działała jak wielki magnes.

Elektromagnetyzm Ørsteda wzbudził falę naukowego zainteresowania, a Faraday na niej popłynął. We wrześniu 1821 roku dokonał jednego z najsłynniejszych eksperymentów w historii nauki. Stwierdził, że mała igła magnetyczna obraca się dookoła swojej osi, jeśli jest otoczona drutami, przez które płynie prąd elektryczny. Gdy prąd płynął przez zwoje drutu, tworzył pole magnetyczne, które przyciągało igłę i powodowało jej obrót. Było to efektem tego, co Faraday nazwał **liniami sił**. Docenił ich znaczenie. W tym doświadczeniu po raz pierwszy Faraday przekształcił energię elektryczną (prąd) w mechaniczną (obrót igły). Odkrył zasadę, na której opiera się działanie wszystkich silników elektrycznych. Silniki w pralkach, odtwarzaczach CD i odkurzaczach zamieniają elektryczność w moc mechaniczną.

Przez następne trzydzieści lat Faraday kontynuował badania nad elektrycznością i magnetyzmem. Należał do najbardziej utalentowanych eksperymentatorów wszech czasów. Jego doświadczenia były głęboko przemyślane i starannie

wykonywane. Natomiast jego opracowania naukowe przypominają raczej zapiski laboratoryjne, ponieważ w ramach samodzielnej edukacji nie pogłębił znajomości matematyki. Szczegółowo opisywał w nich sprzęt, co zrobił i co zaobserwował. Jego prace pomogły zrozumieć naukowcom rolę ładunków elektrycznych w reakcjach chemicznych. Na początku lat trzydziestych XIX wieku skonstruował generator i transformator elektryczny. W generatorze elektrycznym wsuwał stały magnes w zwój drutu i wysuwał go, co wzbudzało prąd. Z kolei w transformatorze elektrycznym przepuszczał prąd przez drut nawinięty na żelazny pierścień, co na krótko generowało prąd w innym drucie, nawiniętym na drugą połowę pierścienia. Faraday zdawał sobie sprawę z toporności tych eksperymentów, a jednocześnie ich doniosłości. Zależność między elektrycznością a magnetyzmem oraz przekształcanie energii elektrycznej w mechaniczną dosłownie napędza współczesny świat.

Faraday rozwijał szerokie zainteresowania naukowe i poświęcał sporo czasu na udział w zebraniach komitetów naukowych i działalności Królewskiego Instytutu. Wprowadził bożonarodzeniowe odczyty, które do dziś cieszą się popularnością. Niektóre z nich pokazywane są w telewizji. Jednak jego największą miłością pozostały elektryczność i magnetyzm. Dzięki tej fascynacji nasz słownik wzbogacił się o nowe terminy naukowe, a zjawiska, które badał Faraday, mają dziś wiele przydatnych zastosowań. Uczony żartował nawet na temat swoich wynalazków. Zapytany przez polityka o przydatność elektryczności w praktyce, miał ponoć odpowiedzieć: „No cóż, sir, istnieją duże szanse na to, że wkrótce będzie pan mógł ją opodatkować!”

Po drugiej stronie Atlantyku ogromne zainteresowanie elektrycznością i magnetyzmem zaowocowało pojawieniem się innego nowatorskiego wynalazku – telegrafu. Przesyła-

nie sygnałów za pośrednictwem przewodów elektrycznych rozpoczęto już na początku XIX wieku, ale dopiero Amerykanin Samuel Morse (1791–1872) zbudował pierwszy telegraf dalekiego zasięgu. W 1844 roku, używając alfabetu nazwanego później jego nazwiskiem, przesłał wiadomość na odległość ponad 60 km, z Waszyngtonu do Baltimore. Wkrótce komunikacja telegraficzna rozwinęła się na całym świecie, a Brytyjczycy zastosowali ją do łączenia się z placówkami na krańcach rozległego imperium. Ludzie zyskali możliwość szybkiego porozumiewania się, a najświeższe wiadomości można było natychmiast przekazać dalej.

Faraday wprowadził pojęcie **pola elektrycznego**, aby wyjaśnić, dlaczego elektryczność i magnetyzm mają charakterystyczne zadziwiające właściwości. Naukowcy już wcześniej używali koncepcji pola (obszaru działania), próbując zrozumieć reakcje chemiczne, elektryczność, magnetyzm, światło i grawitację. Przypuszczali, że te zjawiska zachodzą w ograniczonej przestrzeni, czyli polu, tak jak mecze gier zespołowych rozgrywane są na ustalonym polu, boisku czy korcie. W wyjaśnieniach dotyczących elektryczności i magnetyzmu koncepcja pola odgrywała kluczową rolę. Faraday twierdził, że ważniejsze są pomiary obszaru działania niż sama elektryczność, światło czy magnetyzm. Siłę pola elektrycznego można było pokazać w eksperymentach.

Faraday nie mógł uwierzyć, że grawitacja może oddziaływać poprzez próżnię. Dlatego przyjął, że nie istnieje próżnia absolutna. Jego zdaniem przestrzeń wypełniała bardzo delikatna substancja zwana **eterem**. Ten kosmiczny eter (niemający nic wspólnego z eterem stosowanym jako środek znieczulający) pozwolił fizykom i chemikom wyjaśnić wiele zjawisk poprzez oddziaływania bezpośrednie. Zatem pola Faradaya wokół prądów magnetycznych lub magnesów mogły powstać na skutek pobudzania drobnej materii eteru

przez prądy elektryczne lub magnesy. W ten sposób było też łatwiej wytłumaczyć grawitację. Gdyby nie ta teoria, musiałaby być ona jakąś tajemniczą siłą, jak magiczne moce dawnych alchemików, w co Faraday nie wierzył. Eteru nie dało się zobaczyć ani poczuć, ale fizycy sądzili, że jego obecność pozwala wyjaśnić ich eksperymenty. W Wielkiej Brytanii koncepcją eteru kosmicznego posługiwano się aż do początku XX wieku, kiedy to doświadczalnie wykazano, że coś takiego nie istnieje!

Większość prac Faradaya o siłach okazała się bardzo przydatna. Później fizycy poszerzyli wiedzę na ten temat i wprowadzili lepszy, matematyczny opis elektryczności, magnetyzmu oraz wielu innych zjawisk fizycznych występujących na świecie. Faraday był ostatnim wielkim fizykiem niestosującym matematyki.

Spuściznę po Faradayu zabezpieczył James Clerk Maxwell (1831–1879) z nowego pokolenia fizyków matematycznych. Zwykle wymienia się go razem z Newtonem i Einsteinem. Z pewnością należał do najbardziej kreatywnych fizyków wszech czasów. Urodził się w Edynburgu. Po ukończeniu tamtejszych szkół studiował na uniwersytecie w Cambridge. Po studiach wrócił na krótko do Szkocji, aby uczyć innych spragnionych wiedzy. Opisał wówczas pierścienie Saturna. W 1860 roku przeniósł się do King’s College w Londynie. Spędzone w nim lata historia nauki zalicza do najbardziej płodnych w jego życiu. Rozwinął tam teorię barw i zrobił pierwsze kolorowe zdjęcie. Zawsze interesowały go elektryczność i magnetyzm. Połączył je ze sobą na dobre, dostarczając odpowiednich narzędzi matematycznych. Za pomocą równań matematycznych wyraził Faradayowskie idee pola. Po nim fizycy używali ich do opisu elektromagnetyzmu. Z równań Maxwella wynikało, że siła elektromagnetyczna jest falą, co było jednym z najważniejszych odkryć

w dziedzinie fizyki. Te fale poruszają się z prędkością światła. Dziś wiemy, że światło i energia słoneczna docierają do nas w postaci fal elektromagnetycznych. W zasadzie Maxwell przewidział cały zakres znanych nam fal: radiowych do transmitowania programów radiostacji, mikrofal w kuchenkach mikrofalowych, ultrafioletu i podczerwieni powyżej i poniżej fal widzialnych, które mają kolory tęczy, a także promieniowania rentgenowskiego i fal gamma. W życiu współczesnego człowieka są one obecne na co dzień. Mimo że Maxwell głosił ich istnienie, większość tych postaci energii odkryto dopiero później. Nic więc dziwnego, że dorobek naukowy Maxwella został w pełni doceniony dopiero po pewnym czasie. Jego *A Treatise on Electricity and Magnetism* (*Traktat o elektryczności i magnetyzmie*) z 1873 roku jest chyba najważniejszym dziełem powstałym między *Principia* Newtona a dwudziestowiecznymi pracami naukowymi.

W czasie pisania tego traktatu Maxwell przeniósł się do Cambridge, aby zorganizować Laboratorium imienia Cavendisha, w którym w następnych dekadach wykonano wiele ważnych badań fizycznych. Umarł młodo, w wieku 48 lat, ale zdążył przeprowadzić fundamentalne badania nad zachowaniem gazów, wykorzystując do nich specjalny rodzaj matematyki – statystykę. Za jej pomocą opisał, jak ogromne ilości atomów gazów, z których każdy porusza się z inną prędkością i w innym kierunku, powodują znane efekty w różnych temperaturach i przy różnym ciśnieniu. Dostarczył matematycznych narzędzi wyjaśniających to, co Robert Boyle i Robert Hooke obserwowali wiele lat wcześniej. Maxwell opracował także podstawową koncepcję **mechanizmu sprzężenia zwrotnego**, czyli procesów odbywających się w pętlach, które nazwał **regulatorami**. Te mechanizmy są bardzo istotne w technice, informatyce i robotyce. Zachodzą także w naszych organizmach. Na przykład, gdy

robi nam się za gorąco, ciało to odczuwa i zaczyna się pocić. Parujący pot ochładza nas. A kiedy jest nam zimno, dygoczemy, a kurczące się przy tym mięśnie wydzielają ciepło, które nas rozgrzewa. Te mechanizmy sprzężenia zwrotnego pozwalają nam utrzymać stałą temperaturę ciała.

Maxwell miał poczucie humoru, był bardzo religijny i mocno związany z żoną, która była dość dominująca w związku. Na przyjęciach mawiała: „James, zaczynasz się dobrze bawić – pora wracać do domu”. Na szczęście nie odebrała mu radości z pracy w laboratorium.

ROZDZIAŁ 23

Świat dinozaurów

Gdy byłem mały, miałem trudności ze wskazaniem różnic między dinozaurami a smokami. Na rysunkach często wyglądały tak samo – z ogromnymi zębami, potężnymi szczękami, skórą pokrytą łuskami i oczami ziejącymi nienawiścią. Niekiedy przedstawiano, jak atakują inne zwierzęta. Niewątpliwie lepiej unikać obu tych rodzajów stworzeń.

Jednak dinozaury różnią się od smoków pod jednym zasadniczym względem. Smoki występują w greckich mitach, legendach związanych z życiem króla Artura i baśniach. Pojawiają się w sztukach z różnych epok i na paradach z okazji chińskiego Nowego Roku. Nawet jeśli mają taką moc, że przetrwały we współcześnie tworzonych opowieściach, zawsze pozostaną produktem ludzkiej wyobraźni. Smoki nigdy nie istniały. Natomiast dinozaury żyły kiedyś na ziemi. Było to w tak zamierzchłej przeszłości, że nie widział ich żaden człowiek. Królowały na naszej planecie około 200 milionów lat temu. Wiemy o nich, ponieważ ich kości zachowały się jako skamieliny. Odkrycie szczątków tych zwierząt na

początku XIX wieku było ważnym krokiem w nauce. Pierwsi geolodzy, a później zwykli ludzie, zdali sobie sprawę z tego, że Ziemia jest znacznie starsza, niż początkowo sądzono.

Słowo **paleontologia** narodziło się we Francji w 1822 roku. Oznacza naukę zajmującą się badaniem skamieniałości. **Skamieliny** to szczątki żyjących dawniej roślin lub zwierząt, które zachowały się dzięki sprzyjającym warunkom. Skamielinami nazywamy również ich odciski w skałach. Można je podziwiać w wielu muzeach. Poszukiwanie i zbieranie ich dostarcza wielkiej przyjemności, ale dziś trudno jest znaleźć jakiekolwiek skamieniałości, gdyż większość została zebrana przez naukowców i muzealników. Jednak w niektórych miejscach na świecie, takich jak Lyme Regis na południowym wybrzeżu Anglii, klify są wciąż podmywane przez morskie fale i ulegają erozji, co powoduje odsłanianie skamielin.

Od tysięcy lat ludzie natrafiali na skamieniałości. Początkowo słowo to oznaczało po prostu „coś wykopanego”, więc mogły to być stare monety, fragmenty ceramiki czy kawałki ładnego kwarcu. Jednak większość zakopanych w ziemi obiektów wyglądała jak muszle, skorupy, zęby lub kości zwierząt i stopniowo słowo zawężało znaczenie do tego, co wygląda jak fragmenty roślin lub zwierząt. Muszle i skorupy morskich stworzeń czasami znajdowano na szczytach gór, daleko od mórz. Spetryfikowane (czyli zmienione w kamień) kości, zęby, skorupy i muszle często nie przypominały tych, które miały współcześnie żyjące zwierzęta. W XVII wieku przyrodnicy zaproponowali trzy wyjaśnienia tych znalezisk. Po pierwsze, niektórzy wierzyli, że te odkryte fragmenty były efektem działania specjalnej siły natury, która dążyła do stworzenia nowych rodzajów organizmów, co jednak się jej nie udało. Przypominały żyjące rośliny i zwierzęta, ale niezupełnie. Inni uznali, że skamieliny to prawdzi-

we pozostałości gatunków roślin i zwierząt, które po prostu nie zostały wciąż odkryte. Wielkie obszary ziemi nie były wówczas jeszcze zbadane, więc istniały szanse na znalezienie stworzeń w odległych częściach świata lub w oceanach. Trzecia grupa uczonych ośmieliła się twierdzić, że takie żywe organizmy żyły kiedyś na ziemi, ale już wyginęły. Gdyby to była prawda, ziemia musiałby być znacznie starsza, niż sądziła większość ludzi.

Dopiero w XVIII wieku słowo „skamieniałości” nabrało współczesnego znaczenia. Tym terminem określano spetryfikowane pozostałości roślin i zwierząt, które niegdyś żyły na Ziemi. Świadomość konsekwencji tego faktu zaczęła dominować w myśleniu naukowym. Francuski naukowiec Georges Cuvier (1769–1832) przekonał cały świat, że niektóre stworzenia wymarły. Jako bardzo dobry anatom porównywał budowę różnych gatunków zwierząt. Szczególnie interesowały go ryby, ale miał też sporą wiedzę o reszcie królestwa zwierząt. Przeprowadzał setki sekcji ciał różnych zwierząt, a następnie porównywał ich organy i zastanawiał się, do czego służą. Twierdził, że zwierzęta to żyjące maszyny, w których każdy element ma swoje przeznaczenie, a ponadto współdziała z pozostałymi częściami ciała. Na przykład mięsożercy mieli kły (ostre zęby) służące do rozrywania upolowanych ofiar. Ich układ trawienny, mięśnie i inne cechy świadczyły o przystosowaniu do polowania i żywienia się mięsem. Roślinożercy, tacy jak krowy i owce, mieli zęby o spłaszczonych końcach, które ułatwiały im żucie trawy i siana. Struktura ich kości i mięśni była dostosowana do stania, a nie biegania i atakowania ofiar.

Cuvier wierzył, że zwierzęta są tak wspaniale zbudowane, że wszystkie ich części doskonale do siebie pasują. Wystarczy spojrzeć na jedną z nich, aby móc dużo powiedzieć o budowie zwierzęcia i jego trybie życia. Mówił, że jeśli

znajdziemy kieł, to na pewno mamy do czynienia z mięsożercą. Te same zasady zastosował wobec skamielin. Wraz z innym anatomem przystąpił do szczegółowego badania szczątków znalezionych w okolicach Paryża. Naukowcy zauważyli, że większość skamielin przypomina zwierzęta, które wciąż żyją w tym regionie, ale w wielu przypadkach skamieniałe zęby i kości różniły się drobnymi, ale znaczącymi cechami od tych, które miały współcześnie żyjące gatunki. Na Syberii przypadkiem odkryto zamarznięte szczątki dużego słonia. Cuvier zbadał tego włochatego mamuta (tak go bowiem nazwał). Stwierdził, że okaz nie tylko nie przypominał żadnego znanego słonia, ale również, że zwierzę tej wielkości z pewnością zostałoby już zauważone, gdyby gdzieś żyło. Musiało zatem wyginąć.

Gdy przyrodnicy zaakceptowali koncepcję, że niektóre gatunki roślin i zwierząt wymarły, było im znacznie łatwiej zinterpretować licznie znajdowane skamieliny. Odkrycia dwojga Anglików pomogły nabrać lepszego wyobrażenia o prehistorycznym świecie. Pierwszą z tych odkrywców amatorów była Mary Anning (1799–1847), córka biednego stolarza mieszkająca w Lyme Regis. Ta okolica świetnie nadawała się do szukania skamielin, które wciąż odsłaniała erozja. Już jako młoda dziewczyna Mary zajmowała się zbieraniem ciekawych okazów, które można było sprzedać naukowcom i kolekcjonerom. Ona i jej brat Joseph wykorzystali znajomość rodzinnych okolic i ze zbierania oraz sprzedawania skamielin uczynili rodzinny biznes. W 1811 roku znaleźli czaszkę dziwnego zwierzęcia, a później jego pozostałe kości. Ocenili, że mierzyło około 5 metrów długości i nie przypomina żadnego z dotychczasowych znalezisk. Szkielet wystawiono w Oksfordzie, a ponieważ zwierzę miało płetwy, wyciągnięto wnioski, że żyło w środowisku wodnym, i nazwano je ichtiozaurem, co dosłownie znaczy „rybojaszczur-

ka”. Mary znalazła jeszcze inne niezwykłe skamieliny, między innymi zwierzęcia przypominającego ogromnego żółwia, ale najwyraźniej nieposiadającego skorupy. Nadano mu nazwę plezjozaur, czyli „prawie gad”. Te odkrycia przysporzyły jej nieco sławy i pieniędzy. Jednak szukanie skamielin stawało się coraz popularniejsze. W końcu konkurencja zrobiła się tak ostra, że Mary miała trudności z utrzymaniem siebie i swojej rodziny z tego zajęcia. Mary Anning nie była wykształcona, więc łatwo straciła kontrolę nad znalezionymi przez siebie okazami, gdy je sprzedała.

Gideon Mantell (1790–1852) borykał się z problemami innego rodzaju. Był lekarzem rodzinnym w Lewes w hrabstwie Sussex, również w południowej Anglii. Miał dostęp do skamielin w pobliskim kamieniołomie wapieni. Jako lekarz znał się na anatomii i potrafił zinterpretować znaleziska. Z powodu natłoku zajęć i obowiązków związanych z praktyką medyczną oraz powiększającą się rodziną trudno mu było znaleźć czas na poszukiwania skamielin i zajmowanie się nimi. Zamienił swój dom w rodzaj muzeum paleontologicznego, co nie spodobało się jego żonie. Z kolei podróże do Londynu w celu pokazania znalezisk naukowcom były czasochłonne i kosztowne.

Mimo tych przeszkód Mantell nie rezygnował ze swojej pasji, a jego wytrwałość została nagrodzona – odkrył kilka egzotycznych bestii. W latach dwudziestych XIX wieku znalazł zęby jakiegoś nieznanego stworzenia, które nazwano iguanodonem, czyli „mającym takie zęby jak iguana” (rodzaj tropikalnej jaszczurki). Niektórzy jego wielbiciele znaleźli i dostarczyli mu bardziej kompletny szkielet iguanodona. Mantell odkrył też pancernego hileozaura, potwierdzając, że niektóre z tych ogromnych stworzeń chodziły również po lądzie. Odkopano też szczątki zwierząt o cechach ptasich.

Te dziwne istoty żyły zatem w morzach, na lądach i w powietrzu.

Gdy w muzeach widzimy zrekonstruowane ogromne i wspaniałe zwierzęta kopalne, niełatwo nam zrozumieć, że ludziom, którzy je odkryli, trudno było odtworzyć ich wygląd. Spetryfikowane kości często były rozrzucone po dużym terenie, a niektórych fragmentów szkieletów brakowało. Znaleziska można było porównać z ograniczoną liczbą żyjących lub skamieniałych zwierząt. Nie było jeszcze współczesnych technik datowania. Rozmiar znalezisk oceniano, porównując odkryte kości, na przykład kość udową, z kośćmi dużych żyjących zwierząt takich jak słonie i nosorożce. Uzyskane w ten sposób oszacowania były zawyżone. Stosowano zasadę Cuviera, aby próbować zrekonstruować całe szkielety na podstawie części i zgadywać, co dane zwierzę mogło jeść, jak się poruszało i gdzie żyło (na lądzie, w wodzie, w powietrzu czy w różnych środowiskach). Wiele poglądów trzeba było zrewidować, gdy odkrywano kolejne kości dinozaurów i lepiej poznawano prehistorię Ziemi. Takie znaleziska na zawsze zmieniły nasz sposób myślenia o świecie.

„Poszukiwacze dinozaurów” uświadomili społeczeństwu, jak stara jest Ziemia i jak skomplikowane stworzenia ją zamieszkiwały na długo przed pojawieniem się człowieka. Ten dawny świat pobudzał wyobraźnię i w wielu popularnych czasopismach pojawiły się fantastyczne rysunki. Gdy pisarze, tacy jak Karol Dickens, odwoływali się do tych wielkich gadów, wiedzieli, że czytelnicy zrozumieją, o czym piszą.

Nazwy **dinozaur** po raz pierwszy użyto w 1842 roku. Oznaczała ona mniej więcej „strasznego, wielkiego gada”. Wciąż odkrywano nowe gatunki dinozaurów i to nie tylko w Anglii. Szybko włączono je w ogólną historię życia na Zie-

mi, a okres ich występowania określono z grubsza na podstawie wieku skał, w których spoczywały skamieliny.

Richard Owen (1804–1892), który wymyślił słowo „dinozaur”, wykorzystał swoje prace o tych istotach, aby rozwinąć karierę naukową. Pracował w budynku, w którym dziś mieści się Muzeum Historii Naturalnej w Londynie. To wspaniała placówka, a dinozaury wciąż zajmują w niej poczesne miejsce. Wiele wystawionych tam eksponatów to oryginalne znaleziska Mary Anning.

W 1851 roku w Londynie odbyła się pierwsza z serii Wystaw Światowych, zwana Wielką Wystawą. Była poświęcona nauce, technologii, sztuce, transportowi i kulturze na całym globie. Urządzono ją w niezwykłym jak na owe czasy budynku – Pałacu Kryształowym. Była to gigantyczna szklarnia ulokowana w Hyde Parku, w samym sercu Londynu. Miała 33 metry wysokości, 124 metry szerokości i 563 metry długości. Ludzie myśleli, że nie da się zbudować czegoś tak ogromnego ze szkła i stali, ale Joseph Paxton to zrobił. Był ogrodnikiem i architektem, więc miał doświadczenie w konstruowaniu dużych oranżerii dla wiktoriańskiej szlachty. Nigdy wcześniej nie zorganizowano tak wielkiego przedsięwzięcia jak ta wystawa. Przez pół roku od jej otwarcia odwiedziło ją sześć milionów ludzi z całego świata.

Po zamknięciu Wielkiej Wystawy Kryształowy Pałac został rozmontowany i przeniesiony do Sydenham Parku leżącego na południowych obrzeżach Londynu. W ramach zagospodarowywania tamtego terenu urządzono pierwszy na świecie park tematyczny, w dodatku poświęcony dinozaurom i innym prehistorycznym stworzeniom. Gigantyczne repliki iguanodona, ichtiozaura, megalozaura i innych bestii stanęły wokół sztucznego jeziora. Okolica do dziś nosi nazwę Crystal Palace, choć sam pałac spłonął w wielkim pożarze w 1936 roku. Niektóre ze zrekonstruowanych dinozaurów

dziś nie wyglądają zbyt dobrze. Sponiewierane i podniszczone, przetrwały pożar i nadal można je oglądać jako wspaniałe dowody przypominające o przeszłości naszej planety.

Dziś wiemy już znacznie więcej o epoce dinozaurów. Znaleziono skamieniałości wielu gatunków tych gadów. Teraz znacznie dokładniej niż Mantell czy Owen potrafimy określić ich wiek. Czasami mówi się, że dinozaury dosyć szybko zniknęły z Ziemi. (Czas geologiczny płynie znacznie wolniej, o czym dowiemy się z następnego rozdziału). Ich gwałtowne wyginięcie nastąpiło prawdopodobnie na skutek zmian klimatu wywołanych uderzeniem w Ziemię ogromnej asteroidy przed 65 milionami lat. Nie wszystkie jednak wymarły. Niektóre mniejsze gatunki przetrwały katastrofę i ewoluowały, a ich potomków możesz codziennie spotkać wśród drzew i zieleni. To ptaki.

ROZDZIAŁ 24

Historia naszej planety

Znajdowanie kości prehistorycznych stworzeń było tylko jednym ze sposobów poznawania przeszłości Ziemi. Podczas wycieczek w plener można zauważyć, że przez środek doliny często płynie rzeka lub strumień, a otaczają ją wzgórza lub góry. W niektórych częściach świata, na przykład w Alpach Szwajcarskich, góry są wyjątkowo strzeliste, a doliny – głębokie.

Jak ukształtowała się powierzchnia Ziemi? Góry i doliny nie mogły zawsze wyglądać tak jak dziś, ponieważ krajobraz co roku zmieniają trzęsienia ziemi, wybuchy wulkanów oraz działanie rzek i lodowców. Zmiana dokonująca się w ciągu jednego roku może być niewielka, ale już na przestrzeni twojego życia staje się widoczna. Wybrzeża są podmywane przez fale i czasem budynki spadają do morza. Jeszcze większe zmiany zachodzą w ciągu kilku pokoleń.

Trzęsienia ziemi, erupcje wulkanów i tsunami to nic nowego. Wezuwiusz pod Neapolem we Włoszech wybuchł w 79 roku. Zniszczył pobliskie miasto Pompeje i zabił wielu

mieszkańców miasteczka. Lawa i popiół znacznie zmieniły linię brzegową. Dziś można spacerować uliczkami Pompejów odkopanymi spod warstwy popiołów i lawy.

Wielu ludzi zastanawiało się nad istotą takich dramatycznych wydarzeń. Niektórzy sądzili, że są to zjawiska nadprzyrodzone. Jednak od końca XVII wieku obserwatorzy zaczęli traktować Ziemię jak przedmiot historii naturalnej i włączyli ją do swoich badań. Współczesna geologia narodziła się, kiedy naukowcy zmierzyli się z trzema problemami. Pierwszym był nowy sposób rozumienia historii.

W dawnych czasach historia oznaczała „opis", więc historia naturalna była po prostu opisem Ziemi i wszystkiego, co występuje w naturze. Stopniowo słowo to nabierało współczesnego znaczenia, czyli oznaczało opis zmian zachodzących w czasie. Przywykliśmy do tego, że rzeczy w naszym otoczeniu ulegają szybkim zmianom: ubrania, muzyka, fryzury, a zwłaszcza wszystko, co dotyczy komputerów i telefonów komórkowych. Wystarczy popatrzeć na zdjęcia z lat pięćdziesiątych XX wieku, aby przekonać się, jak wtedy ubierali się ludzie. To nic nowego; bo na przykład starożytni Rzymianie nosili tuniki a Grecy chitony. Obecnie tempo wszelkich zmian ulega znacznemu przyspieszeniu. Dlatego uznajemy zmiany za coś naturalnego, a historia je bada.

Drugi problem dotyczył czasu. Arystoteles założył, że Ziemia jest wieczna i zawsze wyglądała tak jak za jego życia. Starożytni chińscy i indyjscy uczeni również wierzyli, że Ziemia jest bardzo stara. Wraz z nadejściem chrześcijaństwa i islamu oraz wynikających z tych religii poglądów na Ziemię czas się skurczył. „Czas, który potrafimy ogarnąć, to zaledwie pięć dni więcej od naszego wieku", powiedział pisarz sir Thomas Browne w 1642 roku. Chodziło mu o to, że Księga Rodzaju mówi o stworzeniu przez Boga Adama i Ewy w szóstym dniu. W ciągu poprzednich pięciu dni Bóg

wykreował Ziemię, niebo, gwiazdy, Słońce, Księżyc oraz wszystkie rośliny i zwierzęta. Według chrześcijan, takich jak Browne, nasza planeta powstała kilka dni przed tym, kiedy Adam i Ewa zobaczyli pierwszy świt w Edenie.

Jeśli uważnie przeczytasz Biblię i dodasz wiek wszystkich potomków Adama i Ewy wymienionych w Starym Testamencie, obliczysz, kiedy mniej więcej żyła pierwsza para ludzi. W połowie XVII wieku podjął się tego zadania irlandzki arcybiskup Ussher. Jego obliczenia wskazywały, że Ziemia została stworzona 22 października 4004 roku p.n.e., na dodatek wczesnym wieczorem! Wielu chrześcijan wtedy żyjących nie zaakceptowało jego wyliczeń. Ludzie jednak chcieli wiedzieć, jak powstały różne formy ukształtowania powierzchni Ziemi, a trudno było wyjaśnić stopniowe przemiany zachodzące na przykład w dolinach rzecznych, skoro nasza planeta miała niecałe 6000 lat.

Tak ograniczony wiek Ziemi utrudnił też wytłumaczenie, skąd na szczytach gór, a zatem daleko od dzisiejszych mórz i oceanów, znalazły się muszle. Geolodzy uważali, że Ziemia potrzebowała znacznie więcej czasu na uformowanie się. Wtedy zaobserwowane przez nich fakty dałoby się uszeregować w jakiejś rozsądnej perspektywie. Można powiedzieć, że geologowie dodali Ziemi lat. Pod koniec XVII wieku przyrodnicy zaczęli twierdzić, że świat musi mieć więcej niż kilka tysięcy lat, jak wyliczył arcybiskup Ussher. Kilka dekad później Georges Buffon (pionier historii naturalnej, którego poznaliśmy w rozdziale 19) opracował model łączący kosmologię z geologią. Według jego teorii Ziemia początkowo była bardzo gorącą kulą oderwaną od Słońca. Stopniowo ostygła i wtedy życie na niej stało się możliwe. Wstępnie ustalił datę oddzielenia się Ziemi od Słońca na 80 tysięcy lat temu. Starał się nie wyrażać swoich spostrzeżeń kategorycznie, aby nie urazić Kościoła.

Trzeci problem polegał na zrozumieniu natury skał i minerałów, które różnią się między sobą. Jedne są twarde, inne – miękkie i kruche. Są zbudowane z różnego rodzaju materiałów. Wydawało się, że różnią się także wiekiem. Nazwanie i przeanalizowanie skał i minerałów pozwoliło geologom nakreślić pełny obraz historii Ziemi. Znaczną część tych pierwszych prac wykonał Abraham Werner (1749–1817) w Niemczech. Pracował na uniwersytecie, ale aktywnie interesował się górnictwem. Kopalnie, z wnikającymi głęboko pod ziemię szybami i chodnikami, dostarczyły naukowcom próbek materiałów niedostępnych na powierzchni ziemi. Werner oparł swoją klasyfikację skał nie tylko na podstawie ich składu, ale też na domniemanym wieku. Najstarsze były bardzo twarde i nigdy nie zawierały skamielin. Dlatego rodzaje skał znajdowanych w danym miejscu wskazywały na względny wiek tego miejsca w porównaniu z innymi lokalizacjami. Kopiąc głębiej, trafiano na warstwy skał i ziemi (**warstwy geologiczne**, jak nazywają je geolodzy) zawierające skamieniałości, które pozwalały na określenie względnego wieku zarówno skamielin, jak i warstw, w których występowały.

Człowiekiem, który wykazał, jak ważne są skamieliny w procesie datowania, był inżynier William Smith (1769–1839). Na początku XIX wieku pomagał w budowie brytyjskich kanałów. Zanim ruszyła pierwsza kolej, szlaki wodne były najlepszymi drogami transportu towarów, zwłaszcza tak ciężkich jak węgiel. Smith zmierzył ogromne odległości, aby pomóc ustalić najlepsze trasy nowych kanałów. Gdy przygotowywał geologiczną mapę Anglii i Walii, zdał sobie sprawę z tego, że cechą warstwy geologicznej skorupy ziemskiej, równie ważną jak rodzaj zawartych w niej skał, były występujące w niej skamieliny.

Wydłużona skala wieku Ziemi, znajomość rodzajów skał i podkreślone przez Smitha znaczenie skamielin pozwoliły geologom podjąć próby „czytania” historii Ziemi. Na początku XIX wieku większość geologów była katastrofistami, czyli zwolennikami teorii mówiącej o tym, że w dziejach Ziemi dochodziło do wielkich katastrof zmieniających jej budowę i wygląd. Gdy naukowcy przeanalizowali informacje zdobyte w kopalniach, przy budowie kanałów i później kolei, trafili na wiele przypadków potwierdzających fakt, że wulkany i trzęsienia ziemi wpłynęły na warstwy geologiczne zakopane głęboko pod ziemią. Dlatego większość przyrodników uważała, że w historii przeplatają się okresy stabilności z okresami gwałtownych katastrof. Powodzie również uznano za kataklizmy, więc geolodzy usiłowali dopasować znaleziska do relacji biblijnych i byli usatysfakcjonowani tym, że potwierdzają one masowe i powszechne potopy występujące w przeszłości, w tym niedawny (w kategoriach geologicznych), zapewne ogólnoświatowy, w którym Noe mógł zabrać pary wszystkich zwierząt na arkę.

Katastrofiści znaleźli mnóstwo dowodów potwierdzających ich poglądy na historię Ziemi. Skamieliny w poszczególnych warstwach różniły się od tych leżących niżej lub wyżej. W nowszych warstwach geologicznych spetryfikowane rośliny i zwierzęta bardziej przypominały współczesne niż te ze starszych warstw. W Paryżu Georges Cuvier (poznany w poprzednim rozdziale) zastosował anatomię porównawczą, by zrekonstruować wygląd zwierząt z minionych epok, i przedstawił je na malowniczych rysunkach. Jednym z jego zwolenników był William Buckland (1784–1856), liberalny angielski pastor, który wykładał geologię na Uniwersytecie Oksfordzkim. Dociekliwie poszukiwał geologicznych dowodów na biblijny potop. Znalazł wiele śladów, które jego zdaniem musiały być skutkiem działania wody: gruz zmyty do

jaskiń oraz skały, a nawet ogromne głazy rozrzucone po polach. W latach dwudziestych XIX wieku był już całkiem pewny, że to efekt potopu, z którego ocalał Noe. W latach czterdziestych, gdy badania geologiczne dostarczyły więcej danych, nieco stracił tę pewność. Zdał sobie sprawę z tego, że lodowce (potężne rzeki lodu) mogły występować nawet w Wielkiej Brytanii. Ich działalność lepiej wyjaśniała rozrzucone głazy, które mógł za sobą zostawić powoli przesuwający się lód.

W latach dwudziestych i trzydziestych XIX wieku większość geologów wierzyła, że starożytne katastrofy miały związek z pojawianiem się nowych warstw geologicznych. Ponieważ skamieliny w tych warstwach były na ogół nieco inne, geolodzy doszli do wniosku, że historia Ziemi składała się z szeregu katastrof – masowych powodzi i silnych trzęsień ziemi – a po nich rodziły się nowe rośliny i zwierzęta, które przystosowały się do nowych warunków. Naukowcom wydawało się, że rozwój na Ziemi prowadził do powstania coraz bardziej złożonych form życia, a jego ukoronowaniem stało się pojawienie się rasy ludzkiej. Ten pogląd pasował do relacji biblijnej w Księdze Rodzaju, jeśli przyjęło się, że sześć dni tworzenia było tak naprawdę sześcioma długimi okresami albo że Biblia opisuje tylko ostatni akt stworzenia – epokę ludzi.

W 1830 roku Charles Lyell (1797–1875), młody prawnik i geolog, podważył ten rozpowszechniony pogląd. Zbadał skały i skamieniałości we Francji i Włoszech. Studiował geologię na Oksfordzie, a jego wykładowca William Buckland zaliczał się do zwolenników katastrofizmu. Lyellowi ta wizja nie odpowiadała. Zadał więc sobie pytanie, co można wykazać, jeśli się założy, że dawniej siły geologiczne były bardzo podobne do dzisiejszych. Został czołowym wyznawcą **aktualizmu geologicznego**, czyli poglądu przeciwnego

do katastrofizmu. Chciał się przekonać, ile z geologicznej historii Ziemi można wyjaśnić, przyjmując założenie, że siły formujące naszą planetę dziś są takie same jak kiedyś. Stwierdził, że w jego czasach Ziemia wciąż była aktywna geologicznie, ponieważ dochodziło do wybuchów wulkanów, powodzi, erozji i trzęsień ziemi. Postawił pytanie: jeśli tempo tych zmian było identyczne jak dawniej, to czy takie założenie wystarczy do wyjaśnienia wszystkich dowodów świadczących o przeszłych okresowych katastrofach? Odpowiedział na nie twierdząco, a uzasadnienie przedstawił w trzytomowym dziele *The Principles of Geology* (*Zasady geologii*), wydanym w latach 1830–1833. Poprawiał je i uzupełniał przez następne czterdzieści lat, uwzględniając wyniki badań geologicznych (swoich i innych naukowców).

Aktualizm geologiczny był śmiałą próbą pozbycia się z geologicznej historii Ziemi katastrof i cudów, takich jak biblijny potop. Lyell chciał zapewnić geologom swobodę interpretowania prehistorii Ziemi bez ingerencji ze strony Kościoła. Sam był głęboko religijny i twierdził, że ludzie to niezwykłe, obdarzone moralnością stworzenia zajmujące wyjątkową pozycję we wszechświecie. Wyraźniej od katastrofistów widział, że większość domniemanych kolejnych aktów tworzenia się roślin i zwierząt, zwłaszcza tych bliższych współczesności, wygląda raczej na ewolucję. Gdy katastrofiści porównywali skamieliny z głębokich i płytkich warstw, to dostrzegali postęp ewolucji, natomiast Lyell twierdził, że ich obserwacje wcale nie dowodzą ogólnego rozwoju. Był niezmiernie podekscytowany, gdy w starej, głęboko położonej warstwie odkryto skamielinę ssaka. Generalnie ssaki występowały tylko w młodszych warstwach geologicznych. Ten fakt zasugerował mu, że nie było zasadniczego postępu w historii roślin i zwierząt, z wyjątkiem ludzi. Jeśli znaleziska zdawały się wskazywać co innego, był to tylko przypa-

dek. W postaci skamielin zachowała się znikoma część wszystkich gatunków żyjących w czasach prehistorycznych.

Charles Lyell stworzył podwaliny nowoczesnej geologii. Wyróżnił się tym, że zastosował nowy sposób myślenia o geologii i prowadził rozległe badania terenowe. Dowiódł, że historia Ziemi jest na tyle długa, że wiele faktów można wyjaśnić, po prostu obserwując, co się dzieje obecnie, i za pomocą aktualnych wydarzeń i sił geologicznych wytłumaczyć przeszłość. *Zasady geologii* Lyella wywarły ogromne wrażenie na młodym przyrodniku Karolu Darwinie. Pierwszy tom prac swojego poprzednika zabrał ze sobą (a dwa pozostałe kazał sobie przysłać) na wyprawę wokół kuli ziemskiej na pokładzie statku HMS Beagle. Powiedział, że w trakcie podróży patrzył oczami Lyella na świat geologiczny – świat trzęsień ziemi, skał i skamielin. Jednak, zastanawiając się nad tym, co zostało uwiecznione w skamieniałościach, doszedł do całkiem innych wniosków.

ROZDZIAŁ 25

Najwspanialsze widowisko świata

Wyjdź na spacer, a znajdziesz się wśród drzew, kwiatów, ssaków, ptaków i owadów typowych dla części świata, w której mieszkasz. Pójdź do zoo, a zobaczysz egzotyczne rośliny i zwierzęta przywiezione z daleka. Odwiedź muzeum historii naturalnej, a będą tam skamieliny i być może szkielety ogromnych dinozaurów liczące miliony lat. Człowiekiem, który pokazał nam, jak te wszystkie żyjące i kopalne gatunki są ze sobą powiązane, był cichy i skromny Karol Darwin (1809–1882). Na zawsze zmienił nasz sposób myślenia o nas samych.

Karol Linneusz (rozdział 19) nadał nazwy roślinom i zwierzętom, opierając się na założeniu, że przedstawiciele danego gatunku mają pewne stałe cechy różniące ich od przedstawicieli pozostałych gatunków. Faunę i florę wciąż nazywamy, stosując system wprowadzony przez Linneusza. Możemy to robić, bo chociaż wiemy, że rośliny i zwierzęta się zmieniają, to proces ten następuje bardzo wolno. W obrębie jednego gatunku występują różne odmiany. Dzieci mogą się

różnić od swoich rodziców – na przykład są wyższe, mają inny kolor włosów lub większy nos. Młode muszki owocowe, które latem krążą wokół psujących się owoców, także różnią się od swoich rodziców, ale ze względu na ich rozmiar trudno to dostrzec. Łatwiej zauważyć zróżnicowanie szczeniąt lub kociąt w miocie. Darwin zdał sobie sprawę z tego, że wariacje między rodzicami a potomstwem są niezwykle istotne, niezależnie od tego, czy je widzimy, czy nie. Nawet jeśli nie zawsze potrafimy je docenić, robi to za nas natura. Droga Darwina do tego ważkiego wniosku była pełna przygód i przemyśleń.

Ojciec i dziadek naukowca byli szanowanymi lekarzami. Dziadek, Erasmus Darwin, miał teorię na temat tego, jak ewoluowały rośliny i zwierzęta, i napisał wiersz o nauce. Karol był szczęśliwym dzieckiem, mimo że jego matka zmarła, gdy miał osiem lat. Odkrył miłość do przyrody i eksperymentował z zestawem chemikaliów. W szkole otrzymywał jednak przeciętne oceny. Ojciec wysłał go na Uniwersytet Edynburski na studia medyczne, ale Karola bardziej interesowały biologia i historia naturalna. Na widok pierwszej operacji chirurgicznej dostał mdłości i zrozumiał, że nigdy nie będzie lekarzem. Zawsze był bardzo wrażliwy na czyjeś cierpienia.

Po niepowodzeniu w Edynburgu ojciec przeniósł Karola na uniwersytet w Cambridge, aby tam zdobył podstawowe wykształcenie i został duchownym anglikańskim. Karol zdał egzaminy. Jednak Cambridge odegrało istotną rolę w jego życiu z innego powodu. Zaprzyjaźnił się tam z profesorami botaniki i geologii, dzięki którym został przyrodnikiem. Profesor John Henslow zabierał młodego Darwina na wieś w okolicach Cambridge, gdzie zbierali rośliny. Profesorowi Adamowi Sedgwickowi Karol towarzyszył podczas terenowych badań skał i skamielin w Walii. Po tych wyprawach

Darwin ukończył studia i nie bardzo wiedział, jakie znaleźć sobie zajęcie. Ocaliła go nietypowa propozycja zostania „przyrodnikiem dżentelmenem” wyprawy badawczej na pokładzie statku HMS Beagle, dowodzonego przez kapitana Roberta FitzRoya z Royal Navy. Ojciec nie zgodził się na podróż syna, ale wuj przekonał go, że to w sumie dobry pomysł i Karol ruszył w świat. Ten rejs przyczynił się do jego sukcesu naukowego.

Przez prawie pięć lat, od grudnia 1831 do października 1836 roku, Darwin przebywał z dala od domu na pokładzie statku opływającego świat. Przez większość podróży męczyła go choroba morska, ale też spędzał sporo czasu na lądzie, zwłaszcza w Ameryce Południowej. Był znakomitym obserwatorem wszelkiego rodzaju zjawisk naturalnych: krajobrazu, ludzi i ich zwyczajów, roślin, zwierząt i skamieniałości. Zebrał okazy tysięcy gatunków i przywiózł je do kraju – wszystkie starannie opisane. Dziś pewnie prowadziłby blog, a wtedy napisał wspaniały dziennik, który opublikował po powrocie do Wielkiej Brytanii. Jego książka *Journal and Remarks* (*Podróż i uwagi*) (1839) natychmiast zyskała popularność i pozostaje klasyczną relacją z jednej z najważniejszych wypraw naukowych, które kiedykolwiek podjęto.

Swoje poglądy na ewolucję Darwin dopracował później, ale już w trakcie rejsu zastanawiał się, jak rośliny i zwierzęta zmieniały się z biegiem czasu. Z jego dziennika czytelnicy dowiedzieli się o trzech wyjątkowo ważnych faktach. Po pierwsze, w Chile naukowiec przeżył (bezpieczny na pokładzie HMS Beagle) silne trzęsienie ziemi, w efekcie którego poziom wybrzeża podniósł się aż o 4,5 metra. Darwin miał ze sobą egzemplarz *Zasad geologii* Lyella i pozostawał pod wrażeniem jego koncepcji mówiącej o tym, że gwałtowne wydarzenia, takie jak wstrząsy tektoniczne, mogą pomóc

w wyjaśnieniu przeszłości. Trzęsienie ziemi w Chile przekonało Darwina, że Lyell miał rację.

Po drugie, Darwina uderzyły związki między żyjącymi i niedawno wymarłymi gatunkami roślin i zwierząt. Na wschodnim wybrzeżu Ameryki Południowej znalazł duże żyjące pancerniki i podobne do nich skamieliny, ale ewidentnie różne od współczesnych im gatunków. Trafił też na wiele okazów i dodał własne do znalezionych przez innych przyrodników.

Trzecie i najsłynniejsze było jego odkrycie na Wyspach Galapagos. Ten archipelag oddzielają setki kilometrów od zachodniego wybrzeża Ameryki Południowej. Żyły na nim niespotykane rośliny i zwierzęta, między innymi ogromne żółwie i piękne ptaki, przy czym niektóre gatunki były specyficzne tylko dla jednej wyspy. Darwin odwiedził kilka wysp i zebrał okazy flory i fauny. Spotkał staruszka, który potrafił wskazać, z której wyspy pochodzą poszczególne żółwie. Jednak dopiero po powrocie do kraju zaczął sobie uświadamiać znaczenie tych znalezisk. Ornitolog obejrzał zięby przywiezione z różnych wysp i stwierdził, że należą do różnych gatunków. Każda z wysp archipelagu Galapagos okazała się minilaboratorium ewolucji.

Po opuszczeniu brzegów Ameryki Południowej HMS Beagle pożeglował przez Pacyfik do Australii, następnie opłynął południowy kraniec Afryki, zawinął na krótko do Ameryki Południowej i przybił do wybrzeży Anglii. Po powrocie do kraju w 1836 roku Darwin był już wybitnym przyrodnikiem, zupełnie niepodobnym do niepewnego siebie młodzieńca, który pięć lat wcześniej wyruszał w rejs. Zyskał reputację naukową dzięki raportom, listom i okazom, które przesyłał do kraju z podróży.

Przez kilka następnych lat analizował znaleziska przywiezione z ekspedycji i napisał trzy książki. Poślubił też swoją

kuzynkę Emmę Wedgwood i przeniósł się do dużego wiejskiego domu w hrabstwie Kent. W Down House mieszkał przez resztę życia i tam dokonał największych odkryć. Lubił przebywać w domu, ponieważ cierpiał na tajemniczą chorobę i często źle się czuł. Do dziś nie wiadomo, na co chorował. Mimo wszystko dochował się z Emmą dziewięciorga dzieci. Nieustannie też pisał prace naukowe i książki. Jedna z nich – *On the Origin of Species by Means of Natural Selection* (*O powstawaniu gatunków drogą naturalnego doboru*) z 1859 roku – należy do najważniejszych dzieł w historii biologii.

Zanim Darwin opublikował to dzieło, to tuż po powrocie z rejsu statkiem HMS Beagle, w 1837 roku, zaczął prowadzić prywatne notatki o transmutacji. W 1838 roku przeczytał *An Essay on the Principle of Population* (*Prawo ludności*) Thomasa Malthusa. Autora jako duchownego anglikańskiego interesowało, dlaczego tylu ludzi jest ubogich. Twierdził, że biedacy żenią się zbyt wcześnie i mają więcej dzieci, przez co nie mogą utrzymać ich na przyzwoitym poziomie. Uważał, że wszystkie gatunki zwierząt wydają na świat więcej potomstwa, niż może przeżyć. Koty wydają trzy mioty rocznie, a w każdym jest co najmniej sześć kociąt. W letnim sezonie dąb produkuje tysiące żołędzi i z każdego z nich mogłoby wyrosnąć kolejne drzewo. Muchy co roku wydają na świat tysiące młodych much. Gdyby całe potomstwo tych roślin i zwierząt przetrwało i gdyby działo się tak również w kolejnych pokoleniach, świat wkrótce byłby przepełniony kotami, dębami i muchami.

Malthus sądził, że wydawanie na świat licznego potomstwa ma na celu zwiększenie szans przetrwania gatunku. Natura jest okrutna – nie każdy kot z miotu przeżyje. Darwin, czytając esej Malthusa, zdał sobie sprawę z tego, że odkrył, dlaczego niektóre młode przeżywają, a inne nie. To

by również wyjaśniało, dlaczego rośliny i zwierzęta zmieniają się stopniowo i powoli w długich przedziałach czasu. Te, którym udało się przeżyć, musiały mieć jakąś przewagę nad rodzeństwem, a zatem przeżywały te osobniki, które były najlepiej przystosowane, czyli następowała **selekcja naturalna**, jak to nazwał Darwin. Rozumował następująco: całe potomstwo dziedziczy pewne cechy rodziców, takie jak zdolność szybkiego biegania. Potomstwo o najbardziej przydatnych cechach miało większe szanse na przeżycie, bo na przykład mogło biegać szybciej albo miało nieco ostrzejsze rogi niż rodzeństwo. Te cechy „selekcjonowały się", ponieważ niemające ich osobniki, a zatem gorzej przystosowane osobniki, nie żyły dostatecznie długo, aby móc się rozmnożyć.

Darwin wiedział, że zmiany w przyrodzie zachodzą bardzo powoli. Przekonywał jednak, że wiemy, iż przeobrażenia mogą być szybsze, jeśli zaingeruje w nie człowiek, wybierając pożądane cechy roślin lub zwierząt. Nazwał to **selekcją sztuczną**. Ludzie stosowali ją od tysięcy lat. Darwin hodował gołębie i wymieniał listy z innymi miłośnikami tych ptaków. Wiedział więc, jak szybko da się zmienić wygląd lub zachowanie gołębi, jeśli hodowca odpowiednio dobiera cechy rozmnażających się par. Rolnicy robili to samo w przypadku krów, owiec i świń, a hodowcy roślin, aby uzyskać większe plony albo piękniejsze kwiaty. Doskonale wiesz, że pies pasterski jest zupełnie inny niż buldog. Z łatwością można uzyskać różnorodne odmiany gatunku, jeżeli hodowca dobierze odpowiednio pożądane cechy.

Darwin widział, że w przyrodzie dobór zachodzi wolniej, ale po odpowiednim czasie i we właściwych warunkach działo się mniej więcej to samo co w hodowli kierowanej i kontrolowanej przez człowieka. Na Wyspach Galapagos na przykładzie ptaków i żółwi przekonał się, jak działa selekcja

naturalna. Na każdej z wysp warunki – gleba, obecność lub brak drapieżników, dostępność pożywienia – były nieco inne. Dlatego miejscowa flora i fauna adaptowała się do odmiennych warunków lokalnych. Dzioby różnych gatunków zięb „dopasowały się" do różnych rodzajów dostępnego pokarmu: ziaren, owoców lub kleszczy żyjących na żółwiach. Darwin wiedział, że w niektórych przypadkach różnice stawały się na tyle duże, iż powstawały nowe gatunki, choć wszystkie zięby były nadal ze sobą blisko spokrewnione. Czas oraz izolacja doprowadziły do dużych zmian i wyewoluowania nowych gatunków.

Darwin dużo czytał i przeprowadzał wiele różnych obserwacji. W 1838 roku przedstawił zarys swojej teorii w eseju, a w 1842 roku wydał jego dłuższą wersję. Nie opublikował jednak swoich przemyśleń. Dlaczego? Bo chciał mieć pewność, że się nie myli. Wiedział, że jego poglądy na przyrodę są rewolucyjne i naukowcy ostro je skrytykują, jeśli nie przedstawi przekonujących dowodów. W 1844 roku Robert Chambers, edynburski wydawca i przyrodnik amator, anonimowo wydał własną wersję teorii o transmutacji gatunków. Jego *Vestiges of the Natural History of Creation* (*Ślady historii naturalnej kreacji*) wywołały sensację. Transmutacja stała się gorącym tematem. Chambers zebrał mnóstwo dowodów sugerujących, że żyjące gatunki są potomkami dawnych. Jego stwierdzenia były dość ogólnikowe i nie prowadziły do sformułowania teorii przebiegu ewolucji. Popełnił też wiele błędów. Jego książka sprzedawała się bardzo dobrze, ale została ostro skrytykowana przez tych samych wiodących naukowców, których Darwin miał nadzieję przekonać do swojej teorii. Dlatego wielki badacz czekał z ujawnieniem własnych doświadczeń naukowych. Dokończył kilka ważnych prac będących pokłosiem wyprawy dookoła świata. Zajął się nietypowym, ale bezpiecznym tematem –

wąsonogami. Krojenie i badanie tych małych skorupiaków morskich było trudne, ale Darwin zawsze twierdził, że dzięki temu dokładnie poznał grupę zwierząt, do której należy wiele żyjących i wymarłych gatunków i z których każdy inaczej zaadaptował się do swojego środowiska.

Po wąsonogach przyszła wreszcie kolej na wielkie dzieło Darwina. W 1858 roku, gdy pisał obszerną pracę o doborze naturalnym, listonosz przyniósł mu katastrofalną wiadomość. Dostarczył mu list z Azji, w którym proszono Darwina o opinię na temat krótkiego artykułu o tym, jak dobór naturalny może z czasem prowadzić do zmiany gatunków. Darwin był załamany. Autor artykułu, Alfred Russel Wallace (1823–1913), streścił powolną i bolesną ścieżkę prowadzącą Darwina do tego samego wniosku.

W tej sytuacji Darwinowi pomogli przyjaciele, Charles Lyell i Joseph Hooker, którzy znali jego poglądy na temat gatunków. Zorganizowali prezentację poglądów Wallace'a i Darwina w Towarzystwie Linneuszowskim w Londynie. Nikt specjalnie nie zwrócił uwagi na to, co zostało powiedziane na spotkaniu. Chory Darwin został w domu, a Wallace, oddalony o 12 tysięcy kilometrów, nawet nie wiedział o prezentacji. Jednak list Wallace'a zmobilizował Darwina do szybkiego napisania podsumowania swoich koncepcji w książce, która ukazała się 24 października 1859 roku. *O powstawaniu gatunków* wydrukowano w liczbie 1250 egzemplarzy, które sprzedano w jeden dzień.

W książce Darwin przedstawił swoje dwie podstawowe koncepcje. Po pierwsze, dobór naturalny „sprzyja przetrwaniu najbardziej przydatnych cech", czyli takich, które pomagają pojedynczym osobnikom przeżyć i rozmnożyć się. (Sztuczna selekcja dowodziła, że ludzie, jeśli zechcą, mogą istotnie wpłynąć na cechy flory i fauny). Po drugie, selekcja naturalna, działająca w przyrodzie przez długi czas, powo-

dowała powstanie nowych gatunków. Ewoluowały one bardzo powoli. W pozostałych częściach publikacji znajdują się błyskotliwe dowody tłumaczące, jak te koncepcje wyjaśniają świat przyrody. Darwin napisał o związkach między żyjącymi gatunkami i ich bliskimi kopalnymi przodkami. Opisał geograficzne rozmieszczenie roślin i zwierząt na świecie. Wyjaśnił, jak geograficzna izolacja (taka jak na Wyspach Galapagos) stwarza warunki do rozwoju nowych gatunków. Podkreślił, że embriony niektórych zwierząt są zadziwiająco podobne do embrionów innych gatunków. Darwinowskie *O powstawianiu gatunków* było dla biologii tym samym co *Principia* Newtona dla fizyki. Nadawało sens ogromnej liczbie faktów w świecie przyrody.

Darwina najbardziej nurtowało dziedziczenie. Dlaczego po-
tomstwo może być podobne do rodziców, a jednocześnie nieco się różnić od nich i swojego rodzeństwa? Dużo o tym czytał i myślał. Zaproponował różne wyjaśnienia, ale zdawał sobie sprawę z tego, że dziedziczenie (genetyka) jest słabo rozumiane. Wiedział, że nie należy mówić, w jaki sposób odbywa się dziedziczenie, tylko że po prostu zachodzi.

O powstawianiu gatunków wywołało ferment. Ludzie mówili i pisali o tym dziele. Niektórzy wypowiadali się o nim pozytywnie, inni je krytykowali. Darwin nadal nad nim pracował. Przed śmiercią opublikował sześć wydań tej książki. Rozwinął w nich swoje koncepcje, częściowo pod wpływem krytyki, a częściowo dlatego, że jego poglądy dojrzewały. Napisał też zadziwiająco dużo innych książek na interesujące go tematy: o pięknych orchideach z kwiatami przystosowanymi do zapylania ich przez owady, o roślinach łapiących i trawiących owady, o roślinach pnących się po murach, a nawet o dżdżownicach. Nic dziwnego, że nazywano go

„człowiekiem o niepohamowanej ciekawości”. Wydawało się, że nic nie umknie jego uwadze.

W książce *O powstawianiu gatunków* nie wspomniał nic o ewolucji człowieka, choć wiedział, że jego poglądy dotyczą również historii biologii naszego gatunku. Dla czytelników pierwszego wydania tego dzieła było dość oczywiste, że Darwin wierzy w ewolucję gatunku ludzkiego, ale uczony czekał jeszcze ponad dekadę, zanim przyznał to otwarcie w 1871 roku w książce *The Descent of Man* (*O pochodzeniu człowieka*).

Dzięki Darwinowi ewolucja biologiczna stała się poważną teorią naukową. Nieliczni uczeni nie byli do niej przekonani, jednak większość tak, nawet jeśli niektórzy proponowali własne wersje tego, jak i dlaczego zachodzi ewolucja. Wielkie dzieło Darwina nie było doskonałe i wiele szczegółów zostało później poprawionych przez jego następców. Nie musiało być idealne – w nauce to normalne. Jednak siedząc w swoim gabinecie lub ogrodzie w Down House, Darwin sprawił, że ludzie nigdy już nie patrzyli na życie na Ziemi tak samo jak dawniej. Ewolucyjna historia naszej planety to po prostu najwspanialsze widowisko świata.

ROZDZIAŁ 26

„Cegiełki” organizmu: komórki

Istnieją rzeczy, których po prostu nie jesteśmy w stanie zobaczyć lub usłyszeć. Wiele gwiazd leży poza zasięgiem naszego wzroku. Nie możemy dostrzec atomów ani mikroskopijnych stworzeń rojących się w kałużach deszczówki. Nie docierają do nas dźwięki odbierane przez wiele ptaków i myszy. Ale i tak możemy się czegoś o nich dowiedzieć, zadając sobie pytania i używając przyrządów, które pozwolą nam je zobaczyć lub usłyszeć. Możemy ich doświadczyć znaczenie lepiej niż za pomocą własnych oczu i uszu. Teleskopy pomagają nam zajrzeć dalej w kosmos, a mikroskopy – w najmniejsze struktury, z których składają się żywe organizmy.

W XVII wieku pionier mikrobiologii, Antonie van Leeuwenhoek (1632–1723), użył mikroskopu do oglądania komórek krwi i włosków na nogach much. Sto lat później za pomocą bardziej zaawansowanych mikroskopów przyrodnicy zbadali drobne szczegóły anatomii i niezwykłą różnorodność mikroświata. Mikroskop złożony powiększa obraz jeszcze bar-

dziej niż prosty. To tuba z dwoma soczewkami – druga powiększa obraz z pierwszej, więc uzyskuje się powiększenie będące iloczynem powiększeń obu soczewek. Wielu rozważnych ludzi nie wierzyło do końca tym przyrządom. Pierwsze mikroskopy złożone nie były doskonałe, więc powodowały zniekształcenia obrazu lub różnego rodzaju iluzje, na przykład pokazywały dziwne kolory lub nieistniejące linie. Poza tym metody przygotowywania preparatów, to znaczy cięcia próbek na cienkie plasterki i umieszczania ich na szklanych płytkach, były dość prymitywne. W konsekwencji wielu naukowców uważało, że korzystanie z mikroskopów nie jest warte wysiłku, który trzeba włożyć w przygotowania do obserwacji.

Jednak lekarze i biolodzy chcieli zrozumieć, jak działają organizmy w najmniejszych możliwych detalach. We Francji Marie François Xavier Bichat (1771–1802) zaczął badać różne ludzkie „tkanki", takie jak twarde kości, miękki tłuszcz czy płynną krew. Zdał sobie sprawę z tego, że te same rodzaje tkanek zachowują się w podobny sposób niezależnie od tego, z której części ciała pochodzą. Zatem wszystkie mięśnie – nóg, ramion, stóp czy dłoni – były zbudowane z takiej samej tkanki. Ścięgna (łączące mięśnie z kośćmi) i błony surowicze (cienkie warstwy otaczające niektóre organy, jak serce) były do siebie podobne we wszystkich częściach ciała. Nauka zajmująca się badaniem komórek i tkanek to **histologia**, a Bichat jest uznawany za jej ojca. Jednak badacz powątpiewał w przydatność mikroskopów i używał tylko zwykłego szkła powiększającego.

Jego prace zachęciły innych do tego, by spojrzeć na rośliny i zwierzęta, biorąc pod uwagę najmniejsze, najbardziej podstawowe „cegiełki" budujące organizmy. W pierwszych dekadach XIX wieku stworzono kilka konkurencyjnych koncepcji dotyczących tego, czym są te fundamentalne „cegieł-

ki”. Pod koniec lat dwudziestych we Francji i Wielkiej Brytanii pojawiły się nowe rozwiązania techniczne, które pozwoliły zaradzić problemom związanym z niedoskonałościami mikroskopów złożonych. Od tamtej pory ludzie patrzący w obiektyw tego przyrządu mogli mieć większą pewność, że to, co widzą, jest wiernym obrazem rzeczywistości.

W latach trzydziestych XIX wieku dwaj niemieccy uczeni – botanik Matthias Jacob Schleiden (1804–1881) i lekarz Theodor Schwann (1810–1882) – używając nowych mikroskopów, stwierdzili, że podstawowymi „cegiełkami” organizmów są komórki. To z nich zbudowane są wszystkie rośliny i zwierzęta. Schwann badał, jak powstają i działają komórki. To dzięki zachodzącym w nich procesom organizmy poruszają się, trawią, oddychają i czują. Komórki współpracują ze sobą i stanowią klucz do zrozumienia, jak funkcjonują i żyją rośliny i zwierzęta.

Gdy się skaleczysz, na przykład zatniesz w palec, urośnie ci nowa skóra, która naprawi ranę. Ale tkanki, takie jak skóra, są zbudowane z komórek. Jak zatem powstają nowe komórki? Schwann interesował się też chemią, więc zasugerował, że nowe komórki krystalizują ze specjalnego płynu, to znaczy, że rosną tak jak kryształy. Chciał wyjaśnić, jak rozwijają się zarodki w jaju albo macicy. Zastanawiał się, skąd pochodzą komórki, które pojawiają się w miejscu zadrapania czy stłuczenia. Jako lekarz wiedział, że miejsce wokół rany jest zaczerwienione, a rana może zaropieć. Sądził, że komórki ropy krystalizują z wodnistego płynu, który pojawia się w obrzęku. Ta teoria, łącząca w sobie chemię i biologię, była dość atrakcyjna, ale szybko okazało się, że jest zbyt uproszczona.

W miarę udoskonalania mikroskopów coraz więcej naukowców zaczęło obserwować, co się dzieje w komórkach. Jednym z nich był Rudolf Virchow (1821–1902). Zajmował

się przede wszystkim patologią (nauką o chorobach), a jako człowiek o szerokich zainteresowaniach także zdrowiem publicznym, polityką, antropologią i archeologią (pomógł w odkopaniu Troi opisanej przez Homera w VIII wieku p.n.e.). W połowie XIX wieku Virchow zaczął się zastanawiać nad tym, co teoria komórkowa oznacza dla medycyny i badań nad chorobami. Podobnie jak Schwann, uważał komórki za podstawowe „cegiełki" żywych organizmów. Zrozumienie ich funkcji w zdrowiu i chorobie byłoby kluczem do nowej medycyny opartej na podstawach naukowych. Virchow przedstawił swoją koncepcję w książce *Die Cellularpathologie* (*Patologia komórek*) z 1858 roku. Wykazał, że choroby – wykrywane przez lekarzy u pacjentów, których ciała bada się później w prosektorium (gdzie przeprowadza się sekcję zwłok) – zawsze są skutkiem zdarzeń w komórkach. Dotyczyło to rozwoju nowotworów (które szczególnie go interesowały), ropnych zapaleń i obrzęków, a także chorób serca. „Uczcie się patrzeć przez mikroskop", czyli zejdźcie aż do poziomu komórek, zawsze powtarzał swoim studentom na wykładach z patologii.

Ze znakomitych obserwacji mikroskopowych Virchow wysnuł wniosek wyrażający biologiczną prawdę: „Wszystkie komórki pochodzą od komórek". Tym głębokim stwierdzeniem prześcignął Schwanna. Miał na myśli to, że ropa w zaognionym obrzęku – na przykład po wbiciu się drzazgi w palec lub obtarciu skóry – powstaje z innych komórek. Nie krystalizuje z płynów ustrojowych. To również oznaczało, że nowotwór wyrasta z komórek, które nieprawidłowo funkcjonują i dzielą się, kiedy nie powinny. Każda komórka, którą możemy obserwować pod mikroskopem, została utworzona przez istniejącą wcześniej komórkę (zwaną **komórką macierzystą**), która podzieliła się na pół (na **komórki potomne**). Biolodzy przeprowadzali coraz więcej obserwacji mi-

kroskopowych i czasami nawet widzieli, jak odbywa się taki podział. Jak zauważyli, wnętrze komórki zmieniało się przed podziałem – działo się w niej coś szczególnego.

Wcześniejsze obserwacje pokazały, że komórka nie jest zwykłym „opakowaniem" pełnym różnego rodzaju organelli. W latach trzydziestych XIX wieku angielski botanik Robert Brown (1773–1858) stwierdził, że każda komórka ma w centrum coś ciemniejszego od otaczającej go substancji – **jądro komórkowe**. Obejrzał mnóstwo komórek pod mikroskopem i wydawało mu się, że wszystkie mają jądro. Wkrótce inni naukowcy zgodzili się z nim, uznając, że jądro jest częścią wszystkich komórek. Pozostały materiał w komórce nazwano **protoplazmą**, czyli „pierwotnym tworzywem". Wówczas protoplazmę uważano za żyjący, wewnętrzny element komórki, którego funkcjonowanie zapewnia życie roślinom i zwierzętom. Z czasem w komórce wykryto jeszcze inne struktury.

Naukowcy szybko zaakceptowali odkrycie jądra i innych organelli komórkowych. Jednak zupełnie innym problemem była toczona od dawna debata o „samorództwie". Teoria ta dotyczyła pojawiających się w gnijącym mięsie i stojącej wodzie drobnych, ale żyjących stworzeń. Ludzie wiedzieli, że jeśli zostawią na stole nieprzykryty kawałek mięsa, to w ciągu kilku dni pojawią się w nim larwy. Nie wiedzieli, że to muchy składają jaja, z których wylęgają się larwy, jak więc mogli inaczej wyjaśnić ich pojawienie się? Jeśli pod mikroskopem obejrzy się kroplę wody ze stawu, widać, że roi się w niej od maleńkich stworzeń. Skąd się tam wzięły?

Dla XIX-wiecznych uczonych najprostszym wyjaśnieniem tych zjawisk było ich samorzutne powstawanie w środowisku dostarczającym pokarmu na drodze jakichś procesów chemicznych. Był to rozpowszechniony pogląd, który wydawał się sensowny. Ponieważ w mięsie nie było larw, gdy kła-

dziono je na stole, to jak wyjaśnić ich obecność, nie zakładając, że powstały z rozkładającego się mięsa? Mało kto pomyślałby, że złożone organizmy, takie jak dąb czy słoń, powstały na drodze samorództwa. Ale wydawało się, że proste formy życia pojawiają się bez uzasadnionej przyczyny i w jakiś sposób samorzutnie powstają z otaczających je substancji odżywczych. Nawet koncepcja Schwanna o krystalizacji żyjących komórek ze specjalnego płynu ustrojowego zakładała pewnego rodzaju spontaniczne narodziny żywych komórek z martwej materii.

Przyrodnicy w XVII i XVIII wieku myśleli, że wykazali, iż samorództwo nie występuje, ale problem wcale nie zniknął. Pod koniec lat pięćdziesiątych XIX wieku gorąco debatowało o nim dwóch francuskich naukowców. Zwycięzca wreszcie przekonał społeczność naukową, że do samorództwa nie dochodzi. Historia nie jest jednak taka prosta – zwycięzca (który miał rację) nie grał całkiem uczciwie.

Pierwszym z tych dwóch Francuzów był chemik Ludwik Pasteur (1822–1895). W połowie XIX wieku zaczął podejrzewać, że żywe komórki mogą robić dość niezwykłe rzeczy. Badał właściwości chemiczne różnych związków. Dobrze znał się na fermentacji, czyli procesie, w którym z winogron z dodatkiem drożdży powstaje wino albo z mąki zmieszanej z drożdżami wyrasta ciasto na chleb. Przed Pasteurem sądzono, że fermentacja to szczególny rodzaj reakcji chemicznej, w której drożdże działają jak katalizator (przyspieszają reakcję, ale pozostają niezmienione). Pasteur udowodnił, że fermentacja to proces biologiczny wywoływany przez żywe drożdże, żywiące się cukrem zawartym w winogronach lub mące. Komórki drożdży dzielą się, aby powstało ich więcej, a skutkiem ich procesów życiowych jest powstawanie alkoholu w winie lub nadawanie pieczywu lekkości i puszystości. Oczywiście te procesy trzeba było zahamować w odpo-

wiednim czasie poprzez podgrzanie. Gdyby pozwolić drożdżom dalej żyć i rozmnażać się, wino zmieniłoby się w ocet, a ciasto na chleb by opadło. Skoro żywe mikroorganizmy były odpowiedzialne za fermentację, być może miały też udział w innych procesach uznawanych dotąd za reakcje chemiczne, takich jak samorództwo. Dlatego Pasteur przystąpił do publicznej debaty ze swoim rodakiem i zwolennikiem teorii samorództwa Féliksem Pouchetem (1800–1872).

W serii eksperymentów Pasteur zagotował w wodzie słomę, aby ją wysterylizować. Następnie wystawił wodę na działanie powietrza i unoszącego się w nim kurzu. Zazwyczaj, gdy zajrzy się do cieczy po kilku dniach, roi się w niej od mikroorganizmów. Pasteur pokazał, że jeśli wyeliminuje się dostęp kurzu z powietrza, roztwór pozostanie sterylny. Aby udowodnić, że te mikroorganizmy pochodzą z kurzu, a nie z samego powietrza, zaprojektował specjalną kolbę z zakrzywioną szyjką (niczym u łabędzia), która przepuszczała powietrze, ale nie kurz. Gdy Pouchet przeprowadził podobne eksperymenty, w jego kolbach po kilku dniach pojawiły się mikroorganizmy. Zinterpretował ten wynik jako dowód na samorództwo. Gdy doświadczenia nie poszły po jego myśli, Pasteur uznał, że powodem było to, iż nie wyczyścił dostatecznie dobrze kolby. Przypuszczał więc, że Pouchet zawsze był niechlujny. Pasteur wygrał, mimo że spokojnie zignorował wyniki tych eksperymentów, które nie były takie, jak oczekiwał, i w zasadzie potwierdzały stanowisko Poucheta. Zatriumfował, ponieważ był wytrwałym, zdeterminowanym naukowcem i był pewien, że ma rację. W tym przekonaniu utwierdzało go po części stwierdzenie Virchowa: „wszystkie komórki pochodzą od komórek”, które zyskiwało coraz większą popularność. Ludzie chcieli wierzyć Pasteurowi, ponieważ jego teoria stanowiła wielki krok

naprzód w porównaniu ze staromodnymi ideami i była bardzo ważna dla nauki.

Udoskonalenie mikroskopów zaowocowało dużym postępem w badaniach medycznych i biologicznych. Ulepszono także narzędzia do przygotowywania preparatów do badań mikroskopowych. Szczególnie ważne były specjalne odczynniki chemiczne działające jak barwniki, ponieważ nadawały one kolor badanym próbkom i podkreślały elementy struktury komórki, które w innych warunkach łatwo można było przeoczyć. Okazało się, że wybarwione jądro komórkowe zawiera szereg zabarwionych na ciemno pasm, które nazwano **chromosomami** (z greckiego *chromo* – 'kolor'). Gdy komórka się dzieliła, wydawało się, że chromosomy puchną. Znaczenie tego odkrycia oraz zidentyfikowanie przez naukowców innych części komórki doceniono dopiero w XX wieku. Jednak XIX-wieczni lekarze i biolodzy dowiedli, że jeśli chce się zrozumieć funkcjonowanie całych organizmów roślinnych i zwierzęcych, zarówno zdrowych, jak i chorych, trzeba zacząć od badania komórek, z których się składają. Jeden rodzaj komórek, jednokomórkowe organizmy zwane **bakteriami**, okazał się szczególnie istotny dla zrozumienia przyczyn wielu chorób. Ludwik Pasteur odegrał kluczową rolę w ustalaniu związku między drobnoustrojami a chorobami i badaniu wpływu mikroorganizmów na wiele aspektów naszego codziennego życia.

ROZDZIAŁ 27

Kaszel, kichanie i choroby

Gdy mamy katar, kaszel lub niestrawność, często mówimy, że „złapaliśmy” bakterie albo wirusa. Mamy wówczas na myśli jakiś rodzaj drobnoustrojów. „Łapanie” choroby jest dla nas czymś tak naturalnym, że trudno nam sobie wyobrazić, jak zszokowani byli kiedyś ludzie, gdy ktoś przedstawił pomysł, że choroby mogą być wywoływane przez zarazki. Wieki temu lekarze twierdzili, że dolegliwości, na które cierpimy, wynikają z wewnętrznych zmian w „humorach”. Jeszcze całkiem niedawno lekarze uważali, że za chorobę mogą obwiniać złą konstytucję (dziś powiedzielibyśmy raczej „złe geny”), zbytnie folgowanie sobie w jedzeniu i piciu albo złe nawyki, takie jak nieprzesypianie nocy. Nikomu nie przyszło do głowy, że przyczyną choroby mogą być żywe organizmy z zewnątrz. Była to nowa koncepcja, która zmusiła lekarzy do ponownego przemyślenia tego, czym tak naprawdę jest choroba.

W dawnych czasach lekarze mówili o „ziarnach” choroby. Często używali też słowa „wirus”, ale wówczas oznaczało

ono po prostu „truciznę”. To, że ludzie umierali od przypadkowego lub celowego zatrucia, nie było niczym nowym. Natomiast nowatorskie było to, że zewnętrznym źródłem choroby są małe żyjątka zwane mikroorganizmami. Do opisu infekcji zastosowano język wojskowy: „zaatakowane” przez zarazki ciało „broniło się” i mogło „zwalczyć” chorobę. Teoria ta stanowiła punkt zwrotny w historii medycyny.

Jej najważniejszego bohatera, Ludwika Pasteura, poznaliśmy w poprzednim rozdziale. Badacz stwierdził, że choroby są wywoływane przez drobnoustroje. Intensywnie zajmował się badaniem roli mikroorganizmów w wielu codziennych sytuacjach, takich jak warzenie piwa, fermentacja winogron czy pieczenie chleba. **Pasteryzacja** mleka i innych produktów mlecznych opiera się na dokonanych przez niego odkryciach. Zajrzyj do lodówki, a zapewne na opakowaniu któregoś z produktów znajdziesz to słowo. Pasteryzowanie mleka polega na podgrzaniu go do takiej temperatury, w której giną zawarte w nim bakterie. Dzięki temu mleko można dłużej przechowywać i bezpiecznie pić.

Udowodnienie, że bakterie, drożdże, grzyby i inne mikroorganizmy mogą powodować ludzkie i zwierzęce choroby, wymagało jeszcze wykonania wielkiego kroku. Zobaczyć mikroorganizmy pod mikroskopem to jedno, a udowodnić, że to one, a nie co innego, powodują konkretne choroby, to już zupełnie inna sprawa. Choroby zakaźne zawsze dziesiątkowały ludność. Morowe powietrze, czyli dżuma (albo czarna śmierć), wywoływało wysoką gorączkę i bolesne wrzody na ciele. Dżuma przez trzysta lat, począwszy od lat czterdziestych XIV wieku, wielokrotnie atakowała brytyjskie miasta. Roznosiły ją pchły pasożytujące na szczurach śniadych. Gdy szczury padły, insekty przeniosły się na ludzi. Ospa prawdziwa, tyfus i szkarlatyna, objawiające się wysypką i gorączką, również zbierały śmiertelne żniwo. Rodzice

mogli się doczekać ośmiorga dzieci lub więcej, ale większość potomstwa umierała na choroby wieku dziecięcego.

Lekarze badający te schorzenia próbowali wyjaśnić je na dwa sposoby. Niektórzy sądzili, że choroby całych społeczności są zaraźliwe. To oznaczało, że przenoszą się z jednej osoby na drugą przez kontakt – gdy zdrowy dotknął chorego albo jego ubrań bądź pościeli. Wydawało się, że ospa prawdziwa, powodująca brzydkie zmiany na skórze, jest chorobą zakaźną, zwłaszcza dlatego, że zapadali na nią zdrowi, którzy pielęgnowali chorych krewnych lub znajomych.

Znacznie trudniej było wyjaśnić szerzenie się innych chorób wskutek zarażania się. Lekarze mieli teorię, że te choroby były powodowane przez „miazmaty", czyli cuchnące lub niezdrowe zapachy albo opary. Twierdzili, że choroby miazmatyczne zdarzają się z powodu niezdrowych zaburzeń w atmosferze: fetoru gnijących roślin i ścieków czy brzydkich zapachów z pokoju chorego. W XIX wieku najbardziej obawiano się epidemii cholery. Powszechnie występowała w Indiach, ale w latach dwudziestych XIX wieku rozszerzyła się na resztę świata. W ciągu sześciu lat dotarła do Wielkiej Brytanii, gdzie wywołała panikę, ponieważ była nowa i przerażająca. Objawiała się silną biegunką i wymiotami. Często zabijała w ciągu jednego dnia, a mająca dreszcze ofiara umierała wręcz niegodną śmiercią.

Międzynarodowe podróże przyspieszyły rozprzestrzenianie się tej choroby. Jednak postępuje ona wolniej. Gdy europejscy lekarze obserwowali, jak cholera powoli obejmuje Azję i Europę Wschodnią, nie mogli się zdecydować, czy przenosi się ona z jednej osoby na drugą (zarażenie) czy jest miazmatyczną epidemią. Wielu ludzi obawiało się, że szerzy się za pośrednictwem powietrza, którym przecież wszyscy oddychają.

Urzędnicy, w zależności od wyznawanej teorii, mogli na różne sposoby próbować powstrzymać szerzenie się choroby. Jeśli za jej przyczynę uważali zarażenie, najlepiej było zastosować kwarantannę, czyli izolować chorych. W przypadku miazmatów skuteczne powinno być sprzątanie i poprawienie jakości powietrza. Najbardziej intensywna debata na ten temat rozpoczęła się jednak po pierwszym ataku cholery w Wielkiej Brytanii pod koniec 1831 roku. Wybuchła panika, a opinie medyczne były podzielone. Wydawało się, że kwarantanna nie pomaga. Gdy choroba powróciła w 1848 i 1854 roku, błyskotliwy londyński lekarz John Snow (1813–1858) ustalił, co ją wywołuje. Rozmawiał z mieszkańcami i starannie zaznaczał na mapie każdy kolejny przypadek cholery w sąsiedztwie. W ten sposób nabrał pewności, że choroba przenosi się przez wodę z publicznej pompy w Soho, dzielnicy położonej w centralnym Londynie. Był przekonany, że woda została zakażona kałem i wymiocinami ofiar cholery. Pobrał więc próbki wody, aby zbadać je pod mikroskopem. Choć nie udało mu się zidentyfikować żadnej konkretnej przyczyny choroby, jego działania zwróciły uwagę lekarzy i naukowców na wpływ czystej wody na zdrowie publiczne.

Badania Snowa pokazały, jak szerzy się cholera, ale nadal nie wiedziano, co ją wywołuje. Do tego potrzebne było laboratorium, takie jak miał Pasteur. Francuski uczony kontynuował badania mikroorganizmów, a rząd poprosił go, aby zbadał chorobę jedwabników niszczącą francuski przemysł tkacki. Pasteur, wraz z całą rodziną, posłusznie przeniósł się na południe Francji, gdzie produkowano jedwab. Próbując ustalić przyczynę problemów, korzystał z pomocy żony i dzieci. Okazało się, że chorobę wywołuje mikroorganizm infekujący larwy jedwabników. Pasteur pokazał, jak można

uniknąć zarażenia, i tym samym ocalił francuski przemysł jedwabniczy.

Ten sukces skłonił Pasteura do dalszych badań nad chorobami. Naukowiec chciał wykazać, że mikroorganizmy wywołują wiele chorób, na które cierpią ludzie i zwierzęta. Zaczął od wąglika – choroby zwierząt hodowlanych, czasami przenoszącej się na ludzi. W naszych czasach choroba ta nie występowała do czasu, kiedy terroryści zagrozili, że użyją jej jako broni biologicznej. Wąglik objawia się brzydkimi zmianami skórnymi, a jeśli choroba przenosi się przez krew, może być nawet śmiertelna. Wywołuje ją duża bakteria, którą stosunkowo łatwo wykryć. Była to pierwsza choroba ludzka, której udało się zapobiegać za pomocą szczepień.

W 1796 roku Edward Jenner (1749–1823), angielski lekarz wiejski, wynalazł sposób zapobiegania ospie prawdziwej. Celowo wszczepił chłopcu wirusy podobnej, ale łagodniejszej krowianki (ospy krów). Czasami chorowały na nią dojarki i zauważono, że nie zapadają one na groźniejszą ospę. Jenner nazwał tę nową procedurę szczepieniem (po angielsku *vaccination*, od łacińskiego słowa *vacca* oznaczającego ‘krowę’). Programy szczepień zaczęto wprowadzać w wielu krajach. Dzięki nim ograniczono występowanie poważnych chorób.

Pasteur chciał zrobić coś podobnego z wąglikiem, ale nie znano żadnej pokrewnej mu choroby. Nauczył się jednak osłabiać bakterie wąglika, zmieniając im warunki życia, takie jak temperaturę i dostępne pożywienie, oraz wystawiając je na działanie powietrza. Bakterie potrzebują odpowiednich warunków, aby się rozwijać – tak jak i my. Pasteurowi udało się zmniejszyć szkodliwość tych drobnoustrojów i na cześć Jennera nazwał osłabione bakterie szczepionką. Następnie zaprosił dziennikarzy, aby byli świadkami ekspe-

rymentu. Wstrzyknął swoją szczepionkę paru owcom i krowom. Później podał wąglika zaszczepionej i niezaszczepionej grupie zwierząt. Eksperyment zakończył się spektakularnym sukcesem: zaszczepione zwierzęta nie zachorowały, a niezaszczepione – padły. W ten sposób Pasteur pokazał światu potęgę nauk medycznych.

Po wągliku zaczęto badać wściekliznę. Tę straszną chorobę na ogół powoduje ugryzienie zakażonego nią zwierzęcia. Wścieklizna często kończy się śmiercią, a jej ofiary, w tym wiele małych dzieci, toczą pianę z ust i czują wodowstręt. Pasteur nie widział nawet, z czym ma do czynienia, ponieważ ówczesne mikroskopy nie dawały tak silnych powiększeń, by mógł zobaczyć bardzo mały wirus wścieklizny. Na podstawie objawów był pewien, że cokolwiek powoduje tę chorobę, atakuje mózg i rdzeń kręgowy, czyli najważniejszą część układu nerwowego. Dlatego użył rdzenia kręgowego królików, aby sztucznie „wyhodować” wirusy. Zmieniając warunki hodowli, mógł uczynić te drobnoustroje mniej lub bardziej szkodliwymi. Wykorzystał najsłabsze wirusy do sporządzenia szczepionki. Jej pierwsze podanie człowiekowi zakończyło się ogromnym sukcesem i rozsławiło Pasteura na całym świecie. Joseph Meister został pogryziony przez wściekłego psa. Zrozpaczeni rodzice chłopca przyprowadzili go do Pasteura, który zgodził się spróbować go uratować za pomocą serii zastrzyków. Pasteur był chemikiem, więc zastrzyki robił dziecku lekarz, ale szczepionki okazały się skuteczne. Chłopiec przeżył i pracował dla Pasteura do końca życia. Inni ludzie pogryzieni przez wściekłe zwierzęta przyjeżdżali do Paryża, aby zdobyć to cudowne lekarstwo. Przypadek udanego wyleczenia wywołał międzynarodową sensację. Ludzie ofiarowywali datki na założenie Instytutu Pasteura, w którym słynny chemik pracował do końca życia.

Po ponad stu latach Instytut wciąż działa i odnosi sukcesy na polu naukowym.

Pasteur zawsze wyłamywał się ze schematów, czy to odnosząc niebywałe sukcesy, czy też badając mikroorganizmy. Inni naukowcy uznali jego metodę tworzenia szczepionek za zbyt trudną i niepraktyczną.

Wiele przyrządów laboratoryjnych do dziś używanych do badania bakterii wymyślił niemiecki rywal Pasteura Rober Koch (1843–1910). W odróżnieniu od Francuza był on lekarzem i prace badawcze rozpoczął w trakcie praktyki lekarskiej. Koch również badał dobrze widoczne bakterie wąglika. Ustalił, jak wąglik przenosi się ze zwierząt na ludzi i jak wygląda jego skomplikowany cykl życiowy. Czasami bakterie wąglika wchodzą w stan uśpienia, tworząc przetrwalniki. Bardzo trudno jest je zabić. W takiej postaci mogą infekować ludzi i zwierzęta, więc wywołują chorobę więcej niż jedną drogą. Mimo że bakteria wąglika jest jednokomórkowa, okazała się bardzo skomplikowanym organizmem.

Koch był pionierem stosowania fotografii do opisywania bakterii powodujących chorobę. Hodował bakterie na stałej galaretce, zwanej agarem. Dzięki temu mógł identyfikować i badać poszczególne **kolonie** (grupy bakterii). Panował u niego większy porządek niż w kolbach i miksturach Pasteura. Jeden z asystentów Kocha, Julius Petri, wynalazł małe naczynie laboratoryjne na pożywkę agarową do hodowania bakterii, zwaną dziś szalką Petriego. Koch docenił również zastosowanie barwników ułatwiających rozpoznawanie bakterii. Te innowacje zmieniły bakteriologię i pomogły międzynarodowej grupie lekarzy i naukowców w zbadaniu tych mikroorganizmów.

Koch był „łowcą mikrobów”. (Mikrob to skrót od słowa „mikroorganizm”). Zidentyfikował szczepy bakterii wywołujących dwie poważne choroby XIX wieku. W 1882 roku

ogłosił, że odkrył prątki gruźlicy. W tym stuleciu gruźlica zabiła więcej ludzi niż jakakolwiek inna choroba, a lekarze sądzili, że albo jest dziedziczna, albo wynika z niezdrowego stylu życia. Badania Kocha dowiodły, że to choroba zakaźna rozsiewana przez gruźlików. Różni się od innych chorób zakaźnych, takich jak grypa, odra, tyfus i cholera, ponieważ rozwija się powoli. Pomału się szerzy i pomału zabija. Zwykle w ciągu kilku lat niszczy płuca.

Drugim wielkim odkryciem Kocha było zidentyfikowanie bakterii wywołującej cholerę, kolejną przerażającą chorobę. Gdy w 1883 roku choroba pojawiła się w Egipcie, Francuzi i Niemcy wysłali tam naukowców, aby ustalili jej przyczynę. Badacze rywalizowali ze sobą. Jeden z francuskich uczonych zaraził się cholerą i zmarł. (Pasteur również chciał tam pojechać, ale był zbyt słaby fizycznie). Koch i jego niemieccy koledzy przypuszczali, że znaleźli właściwe drobnoustroje, ale nie mieli co do tego pewności. Koch udał się więc do Indii, gdzie cholera nigdy nie wygasała. Identyfikując przecinkowca cholery, potwierdził, że Snow miał rację – bakteria miała coś wspólnego z wodą. Znalazł zarazki zarówno w odchodach chorych, jak i w studniach, z których czerpali wodę.

Zrozumienie przyczyn chorób zakaźnych zapoczątkowało wprowadzanie lepszej kontroli i w końcu szczepień, które w ubiegłym wieku ocaliły życie milionom ludzi.

Pod koniec lat siedemdziesiątych XIX wieku poprawnie wyodrębniono wiele drobnoustrojów chorobotwórczych (później się okazało, że niektóre z nich wcale nie są niebezpieczne). Był to wyjątkowy okres i wielu lekarzy sądziło, że zapowiada on początek nowej medycyny i higieny. Udowodniono, jak ważna jest czystość wody, mleka oraz wszystkich innych napojów i pokarmów. Od tamtej pory lekarze zalecali, by myć ręce po skorzystaniu z toalety i zasłaniać usta,

gdy się kaszle. Rozpoznanie kolejnych zarazków oznaczało, że lekarze mogli opracować szczepionki na więcej chorób. Umożliwiło to także rozwój nowoczesnej chirurgii.

Już w latach sześćdziesiątych XIX wieku angielski chirurg Joseph Lister (1827–1912) wykorzystał odkrycia Pasteura. Zainicjował **antyseptykę** (postępowanie odkażające) na sali operacyjnej. Zapewne w domowej apteczce też masz jakiś środek odkażający. Lister używał kwasu karbolowego, zwanego też fenolem, używanego do dezynfekcji ścieków. Płukał w nim narzędzia chirurgiczne i bandaże zakładane na szwy. Później wynalazł przyrząd do spryskiwania fenolem ciała pacjenta i rąk chirurga podczas operacji. Lister porównał statystyki dotyczące swoich pacjentów ze statystykami dotyczącymi pacjentów lekarzy, którzy nie stosowali jego metod antyseptycznych. Przeanalizował też listy osób, które operował przed wprowadzeniem dezynfekcji. Na podstawie tego zestawienia stwierdził, że w higienicznych warunkach znacznie więcej operowanych osób przeżywa zabieg. Pacjenci nie umierali już w wyniku infekcji, które zaczynały się w operowanym miejscu i szerzyły poprzez układ krążenia. W eksperymentach obalających teorię samorództwa Ludwik Pasteur dowiódł, że zarazki przenoszą się także drogą powietrzną wraz z kurzem. Lister je zabijał dzięki stosowaniu procedur dezynfekcji kwasem karbolowym.

Koch nie tylko ulepszył narzędzia laboratoryjne Pasteura, dokonał też postępu w antyseptycznej chirurgii Listera. Celem Listera było zabicie wszelkich chorobotwórczych zarazków w ranie. Aseptyczna chirurgia Kocha miała polegać na niedopuszczeniu zarazków do rany. Koch wynalazł autoklaw, czyli urządzenie, które za pomocą gorącej pary sterylizowało instrumenty chirurgiczne. Aseptyczna chirurgia po raz pierwszy pozwoliła chirurgom bezpiecznie „wejść” do jam ciała (klatki piersiowej, brzucha i mózgu). Stopniowo

doprowadziło to do zmian na sali operacyjnej i powstania takiej, jaką znamy dziś, z maskami i fartuchami chirurgicznymi, gumowymi rękawiczkami i sterylnym sprzętem.

Chirurgia nie rozwinęłaby się, gdyby nie zasady nowoczesnej higieny, a także anestezja, czyli znieczulanie. Wprowadzono ją w latach czterdziestych XIX wieku w Stanach Zjednoczonych. Była triumfem chemii w służbie medycyny, gdyż związki chemiczne usypiające ludzi – eter i chloroform – były produkowane w laboratoriach chemicznych. (Gaz rozweselający Humphry'a Davy'ego, czyli podtlenek azotu, był kolejnym z pierwszych środków usypiających). Usunięcie nieznośnego bólu, a czasami uniknięcie śmierci chorego na sali operacyjnej i porodowej wydawało się niemal cudem. Jednym z brytyjskich pionierów anestezji był John Snow, znany z badań nad cholerą. Jego kariera anestezjologa osiągnęła szczyt, gdy znieczulał królową Wiktorię podczas porodów ostatniej dwójki jej dzieci. Królowa, która wcześniej bez znieczulenia wydała na świat siedmioro dzieci, uznała, że to niesamowicie dobra rzecz.

Zrozumienie, czym są drobnoustroje chorobotwórcze, umożliwiło postęp w chirurgii. Lekarze dowiedzieli się, co wywołuje choroby zakaźne, które spowodowały tyle bólu i zgonów w historii ludzkości. Stworzono naukowe podstawy pod odkrycie przez Edwarda Jennera szczepionek chroniących przed konkretnymi chorobami. Podczas szczepienia warto znieść chwilowy ból spowodowany ukłuciem, ponieważ szczepionki dają nadzieję na wyeliminowanie wielu chorób zakaźnych na świecie (pod warunkiem, że wszyscy zostaną zaszczepieni). Dziś wiemy o bakteriach, wirusach i pasożytach znacznie więcej niż w czasach Pasteura i Kocha. Zdajemy też sobie sprawę (o czym dowiesz się z rozdziału 36), jak mikroorganizmy są sprytne i potrafią się adaptować. Przystosowały się do niektórych leków i terapii,

którymi zwalczają je lekarze, i nabrały odporności, co było dla nas kolejną lekcją Darwinowskiej ewolucji. Jak uczył Karol Darwin, dobór naturalny sprzyja przetrwaniu najlepiej przystosowanych.

ROZDZIAŁ 28

Silniki i energia

„Sprzedaję tu, proszę pana, to, co cały świat chciałby mieć – MOC”. Inżynier Matthew Boulton (1728–1809) wiedział, o czym mówi. W latach siedemdziesiątych XVIII wieku Boulton i inni ambitni ludzie, tacy jak wynalazca James Watt (1736–1819), wykorzystywali maszyny parowe w górnictwie i przemyśle wytwórczym. Wydawało się, że zapanowali nad energią. Stali za rewolucją przemysłową w Wielkiej Brytanii, pierwszym kraju, który się uprzemysłowił i rozwinął system podziału pracy w fabrykach. Rozkwit techniki napędzały wynalazki naukowe, ogromne nakłady energii na szybką produkcję towarów oraz transportowanie ich daleko i na szeroką skalę. Współczesny świat nie istniałby bez energii – bez mnóstwa energii. A wszystko zaczęło się od pary…

Maszyny (silniki) parowe są dość proste. Zasadę ich działania możesz obserwować za każdym razem, gdy gotujesz wodę w garnku pod przykryciem. Siła nacisku pary unosi pokrywkę, więc para uchodzi przez powstałą szczelinę i po-

krywka podskakuje. Teraz wyobraź sobie, że zamiast garnka z pokrywką masz zamknięty cylinder z małym otworem na jednym końcu. W cylindrze umieszczony jest ruchomy tłok (metalowy dysk szczelnie dopasowany do cylindra, z występem idealnie pasującym do otworu w cylindrze). Ciśnienie uchodzącej pary popycha tłok do góry, przez co porusza tym, co jest przymocowane do tłoka, na przykład wałem, na którego końcach zamontowane są koła samochodu. Silnik parowy zamienia energię pary na ruch, czyli na energię mechaniczną. Taki silnik może wykonywać przydatną pracę, na przykład poruszać element maszynerii lub wypompowywać wodę z kopalni.

Ani Boulton, ani Watt nie wynaleźli maszyny parowej. Znano ją od ponad stu lat, ale jej pierwsze modele były dość toporne, zawodne i niewydajne. Watt znacznie udoskonalił to urządzenie. Jego model nie tylko dostarczał energii, która pozwoliła zindustrializować Wielką Brytanię, ale skłonił także naukowców do zbadania jednego z podstawowych praw natury – pokazał im, że ciepło nie jest substancją, jak myślał Lavoisier, tylko formą energii.

W trakcie rewolucji przemysłowej wśród naukowców, którzy interesowali się działaniem silników parowych, wyróżniał się szczególnie jeden badacz – francuski inżynier Nicolas Léonard Sadi Carnot (1796–1832). On i Watt byli wówczas rywalami. Carnot wiedział, że Brytyjczyk zrobił postępy w projektowaniu silników parowych i wykorzystywaniu mocy, którą generowały. Chciał, aby Francja dogoniła Wielką Brytanię. Obserwując silniki parowe, odkrył fundamentalną zasadę fizyki związaną z wydajnością tych silników.

Gdyby silnik parowy był idealnie wydajny, całą energię potrzebną do podgrzania wody zamieniałby w ruch. Można zmierzyć ilość ciepła wydzielającego się przy spalaniu węgla lub drewna w celu wytworzenia pary, a następnie zmie-

rzyć pracę wykonaną przez tłok. Gdyby silnik był idealnie wydajny, obie wartości byłyby równe. Tak jednak nie jest. Zatem zbudowanie silnika idealnego jest niemożliwe.

Każdy silnik ma zbiornik ściekowy, w którym para stygnie po wykonaniu pracy i zbiera się woda. Można zmierzyć temperaturę pary wchodzącej do silnika oraz temperaturę pary (lub wody) pozostającej na końcu każdego cyklu. W zbiorniku ściekowym, czyli na wyjściu, temperatura jest zawsze niższa niż na wejściu. Carnot pokazał, że można wykorzystać różnicę obu temperatur do obliczenia wydajności silnika. W idealnym silniku wydajność byłaby równa 1, a w rzeczywistości jest to 1 pomniejszone o temperaturę w zbiorniku ściekowym (na wyjściu) podzieloną przez temperaturę początkową (na wejściu). Jedynym sposobem na uzyskanie idealnej wydajności byłoby odbieranie całego ciepła od pary. Wtedy stosunek temperatur byłby równy 0 i z równania wyszłoby 1 – 0 = 1. Aby tak się stało, jedna z temperatur musiałaby być równa nieskończoności lub zeru, czyli nieskończenie gorąca para na wejściu albo zero absolutne (najniższa teoretycznie możliwa temperatura, o której powiemy nieco dalej) na wyjściu. Żadna z tych opcji nie jest możliwa w praktyce, więc wydajność zawsze będzie mniejsza od idealnej.

Proste równanie Carnota, służące do obliczania wydajności silnika, stanowi również podsumowanie podstawowego prawa przyrody. Wyjaśnia ono, dlaczego nie może istnieć *perpetuum mobile* (maszyna pracująca w nieskończoność). Do wyprodukowania energii zawsze musimy zużyć trochę energii, na przykład musimy spalić węgiel lub inne paliwo, aby podgrzać wodę. W latach czterdziestych i pięćdziesiątych XIX wieku ten podstawowy fakt w przyrodzie badali także inni naukowcy. Jednym z nich był niemiecki fizyk Rudolf Clausius (1822–1888). Większość życia poświęcił na ob-

serwowaniu, jak ciepło przepływa w kontrolowanych sytuacjach doświadczalnych. W tym celu wprowadził nowe pojęcie fizyczne – **entropię** – jako miarę nieuporządkowania układu. Znacznie łatwiej jest pomieszać rzeczy, niż je posegregować. Jeśli wymieszasz czarną farbę z białą, uzyskasz szarą. Mieszanie jest łatwe, ale nie da się z powrotem oddzielić czystej czerni od czystej bieli. Jeśli wymieszasz herbatę z cukrem i mlekiem, możesz odzyskać cukier (ale musisz niemało się przy tym natrudzić), jednak w żaden sposób nie odseparujesz mleka. Z energią jest podobnie. Gdy spalisz węgiel, nie możesz wykorzystać uzyskanego ciepła do odzyskania węgla.

W XIX wieku entropia była dla ludzi przygnębiająca. Clausius oświadczył, że wszechświat staje się coraz bardziej nieuporządkowany, ponieważ duża entropia jest jego „naturalnym” stanem. Gdy substancje się pomieszają, oddzielenie ich wymaga większego nakładu energii, tak jak posprzątanie pokoju jest bardziej męczące od zrobienia w nim bałaganu. Według Clausiusa wszechświat stopniowo chyli się ku upadkowi, a na koniec materia i energia będą równo rozłożone w przestrzeni. Nawet Słońce w końcu się wypali (za około pięć miliardów lat), a wtedy życie na Ziemi ustanie. Oczywiście zanim to nastąpi, rośliny, zwierzęta, ludzie, nasze domy i komputery będą się przeciwstawiać dążeniu do kresu przewidzianego przez Clausiusa. Jak mówi stare przysłowie, „kuj żelazo, póki gorące”.

Fizycy i inżynierowie, martwiąc się efektem entropii, jednocześnie szukali odpowiedzi na pytanie, czym dokładnie jest energia. Ważną jej postacią jest ciepło, więc badania nad energią nazwano **termodynamiką**. Termin ten łączy w sobie greckie słowa oznaczające „ciepło” i „moc”. W latach czterdziestych XIX wieku kilku uczonych doszło do podobnych wniosków na temat zależności między różnymi po-

staciami energii. Obserwowali oni różnorodne zjawiska. Co się dzieje, gdy woda zamarza albo wrze? Jak nasze mięśnie podnoszą ciężary? Jak silniki parowe wykorzystują gorącą parę wodną do produkcji czegoś, co może pracować? (Pierwsza linia publicznej kolei napędzanej silnikami parowymi została otwarta na północy Anglii w 1825 roku). Patrząc na zagadnienie pod tyloma różnymi kątami, zdali sobie sprawę z tego, że nie da się stworzyć energii z niczego ani całkowicie jej zlikwidować. Można jedynie spowodować przejście z jednej postaci energii w drugą. Czasami, dokonując tej zamiany, wykonuje się też pracę. W ten sposób sformułowano zasadę zachowania energii.

James Prescott Joule (1818–1889), fizyk z Manchesteru, chciał zrozumieć zależność między ciepłem a pracą. Ile energii potrzeba do wykonania określonej ilości pracy? W serii pomysłowych eksperymentów pokazał, że ciepło i praca są ze sobą bezpośrednio powiązane i można to wyrazić za pomocą równania matematycznego. Energię wykorzystujemy do wykonania pracy (na przykład jazdy na rowerze), a ciepło jest powszechną postacią energii. Pomyśl o wspinaczce na górski szczyt; wykorzystujemy energię za każdym razem, gdy poruszamy mięśniami. Pochodzi ona ze zjedzonych i strawionych pokarmów. Kalorie z pożywienia „spalamy”, zużywając do tego wdychany tlen. Na szczyt góry można wejść dwiema drogami – jedną bardzo stromą, drugą łagodniejszą. Joule pokazał, że niezależnie od tego, którą drogę wybierzemy, do pokonania jej będziemy potrzebować tyle samo energii. Wchodzenie stromą ścieżką może skończyć się bólem mięśni, ale ilość energii zużytej do wniesienia własnego ciężaru ciała na szczyt nie zależy od stromizny ścieżki ani od tego, czy wchodzimy, czy też wbiegamy. Fizycy nadal pamiętają nazwisko Joule’a, od niego pochodzi nazwa jednostki energii – dżul.

Ludzie od dawna próbowali zmierzyć, ile ciepła zawiera dany obiekt, czyli jaką ma temperaturę. Galileusz (rozdział 12) bawił się termoskopem, czyli przyrządem, który reagował zmianą na wzrost temperatury. Termoskop pokazuje, czy coś się ogrzewa, czy stygnie. Termometr pozwolił uzupełnić jego wskazania o liczbę stopni. Wciąż stosujemy dwie skale temperatur opracowane dawno temu. Jedną z nich wymyślił niemiecki fizyk Daniel Gabriel Fahrenheit (1686–1736). Korzystał z termometrów rtęciowych i alkoholowych. Według jego skali woda zamarza przy 32°F, a nasze ciała mają temperaturę 96°F. Anders Celsius (1701–1744) opracował skalę, wykorzystując temperatury dwóch punktów: topnienia lodu oraz wrzenia wody. Pierwszemu przypisał temperaturę 0°C, drugiemu 100°C. Jego termometr mierzył temperatury zawarte w tym zakresie. Obie skale przydają nam się na co dzień – od sprawdzania, w jakiej temperaturze mamy upiec ciasto, po narzekanie na pogodę.

Szkocki fizyk William Thomson (1824–1907) zaproponował kolejną skalę. Szczególnie interesował się tym, jak ciepło i inne postacie energii działają w przyrodzie. Był profesorem na uniwersytecie w Glasgow, a później uzyskał tytuł lorda Kelvin. Posługując się bardzo precyzyjnymi przyrządami i zasadami fizyki, opracował skalę, zwaną dziś skalą Kelvina. W porównaniu z nią skale Celsiusa i Fahrenheita wydają się bardzo niedokładne.

Skalę Kelvina definiuje **punkt potrójny wody**. To punkt, w którym trzy stany skupienia wody – stały (lód), ciekły (woda) i gazowy (para wodna) – pozostają w **równowadze termodynamicznej**. Równowaga termodynamiczna ma miejsce w układzie doświadczalnym, kiedy substancja jest izolowana od otoczenia, a jej temperatura i ciśnienie są stałe. Nie zachodzą zmiany stanów skupienia substancji, a układ nie pobiera ani nie oddaje energii. Zatem punkt po-

trójny wody to taki stan, w którym lód, woda i para wodna pozostają w idealnej równowadze. Gdy tylko temperatura lub ciśnienie się zmieni, układ traci równowagę.

Gdy robi się zimno, temperatury na skalach Celsiusa i Fahrenheita mają wartości ujemne. Zimą często można usłyszeć prognozy pogody mówiące o na przykład „minus dwóch lub trzech stopniach”. Na skali Kelvina nie ma ujemnych temperatur. Woda zamarza przy 273,16 kelwinach (0°C i 32°F). W miarę zbliżania się do 0K robi się bardzo zimno, ale na tej skali zero naprawdę oznacza **zero absolutne (zero bezwzględne)**. W tej temperaturze jest tak zimno, że wszelki ruch zamiera, energia jest najniższa z możliwych. Tak jak nie możemy zbudować idealnego silnika, tak też nigdy nie osiągniemy temperatury zera bezwzględnego.

Kelvin i inni badacze pomogli wyjaśnić naukowe i praktyczne zasady działania wszystkich rodzajów silników. W XIX wieku trzy opisane w tym rozdziale odkrycia wiązały się z pierwszą, drugą i trzecią zasadą termodynamiki, czyli prawem zachowania energii, zasadą entropii oraz postulatem o całkowitym bezruchu atomów w temperaturze zera bezwzględnego. Te zasady mówią o istotnych cechach energii, pracy i mocy.

Nowoczesny świat nie mógł się nasycić nowo odkrytą energią napędzającą fabryki, okręty, pociągi, a pod koniec życia Kelvina także i samochody. Pociągi i statki parowe napędzały silniki, w których ciepło z węgla spalanego w piecach zamieniało wodę w parę. Jednak samochody miały nowy rodzaj silnika – o spalaniu wewnętrznym. Wymagał on zastosowania lotnego paliwa, zwanego benzyną, którą wynaleziono pod koniec XIX wieku. Ropa naftowa stała się jednym z najważniejszych surowców następnego stulecia. Te-

raz, w nowym tysiącleciu, wciąż należy do najbardziej pożądanych i cennych zasobów na świecie.

ROZDZIAŁ 29

Tablica pierwiastków

Za każdym razem, gdy mieszamy składniki, aby coś upiec, przeprowadzamy reakcje chemiczne. Chemia pracuje dla nas także wtedy, gdy słyszymy syk bąbelków przy usuwaniu kamienia z czajnika. Plastikowe butelki na napoje czy kolorowe ubrania mogły powstać dzięki chemicznej wiedzy gromadzonej przez setki lat.

Chemia – jak zapewne pamiętasz – stała się bardziej nowoczesna w XIX wieku. Na początku stulecia chemicy przyjęli teorię atomową Daltona (rozdział 21). Następnie dołożyli starań, aby stworzyć specjalny język, który byłby zrozumiały dla wszystkich chemików pochodzących z różnych krajów świata. Wprowadzili system symboli do oznaczania pierwiastków, na przykład H_2 to dwa atomy wodoru. Wszyscy zgodzili się, że atom jest najmniejszą jednostką materii. Pierwiastkiem chemicznym nazwali substancję złożoną z atomów wyłącznie jednego rodzaju, jak węgiel. Związek chemiczny zawierał co najmniej dwa pierwiastki połączone wiązaniami chemicznymi. Można go rozłożyć na pierwiastki

(na przykład amoniak na azot i wodór), ale pojedynczych pierwiastków nie da się już rozbić.

Mimo że atomy z pewnością nie są małymi, twardymi kulkami, jak sugerował Dalton, chemicy mieli poważne trudności z określeniem, czym są dokładnie. W zamian zaczęli odkrywać, jak się zachowują, gdy umieści się je w pobliżu innych atomów lub związków chemicznych. Niektóre pierwiastki nie były w ogóle zainteresowane reagowaniem z innymi, niezależnie od tego, co się zrobiło. Inne z kolei reagowały tak gwałtownie, że trzeba było uważać, aby nie doszło do eksplozji. Czasami reakcja zachodziła dopiero wtedy, gdy się ją zainicjowało. Tlen i wodór można było umieścić w jednej kolbie i nic się nie działo. Wystarczyło jednak przyłożyć iskrę i trzeba było się pilnować, bo dochodziło do gwałtownej eksplozji, w efekcie której powstawała tylko zwykła woda. Jeżeli natomiast umieszczano magnez i węgiel w kolbie pozbawionej powietrza i podgrzewano je bardzo długo, nic się nie działo. Ale po wpuszczeniu odrobiny powietrza pojawiały się jasny błysk i bardzo dużo ciepła.

Naukowcy znali różne reakcje chemiczne. Byli też ciekawi, jakie są ich przyczyny i według jakich reguł do nich dochodzi. Podzieli swoje eksperymenty na dwie podstawowe kategorie: syntezy i analizy. **Reakcja syntezy** (tworzenia) to łączenie się substancji. Zaczyna się od pierwiastków lub prostych związków chemicznych, które wchodzą ze sobą w reakcję, tworząc bardziej złożone produkty. Chemik bada, co powstało. **Reakcja analizy** (rozkładu) przebiega odwrotnie – złożony związek chemiczny ulega rozkładowi na pierwiastki lub prostsze związki chemiczne. Obserwując produkty rozkładu, badacz może próbować odpowiedzieć sobie na pytanie, jaki związek chemiczny został rozłożony. Dzięki takim metodom chemicy zaczęli orientować się, z czego są zbudowane stosunkowo proste związki chemiczne. Wtedy

łatwiej im już było tworzyć te bardziej skomplikowane przez dodawanie związków lub pierwiastków do znanych im substancji.

Na podstawie tych doświadczeń w miarę oczywiste stały się dwa fakty. Po pierwsze, jak się już wcześniej dowiedzieliśmy, pierwiastki mają albo ujemne, albo dodatnie „tendencje". Jak mówi stare przysłowie, przeciwieństwa się przyciągają. Na przykład sód, pierwiastek z natury posiadający dodatni ładunek elektryczny, łatwo łączy się z chlorem, który ma ujemny ładunek. Powstaje chlorek sodu, czyli sól kuchenna, którą codziennie doprawiasz potrawy. Dodatnie i ujemne ładunki znoszą się nawzajem, więc sól jest elektrycznie obojętna. Wszystkie stabilne związki chemiczne (te, które nie zmieniają się same z siebie, a dopiero wtedy, gdy podda się je jakimś działaniom) są obojętne elektrycznie, mimo że składają się z pierwiastków obdarzonych ładunkiem elektrycznym. Łączenie się sodu z chlorem to przykład reakcji syntezy. Możesz przeprowadzić chemiczną analizę uzyskanej soli. Rozpuść ją w wodzie, przyłóż do roztworu pole elektryczne z dodatnim i ujemnym biegunem, a sól znowu rozpadnie się na sód i chlor. Sód będzie przyciągany przez ujemny biegun, a chlor – przez dodatni. Setki podobnych doświadczeń przekonały chemików, że atomy takich pierwiastków rzeczywiście mają dodatnie i ujemne ładunki elektryczne. Te właściwości odgrywają istotną rolę w ustalaniu, co się stanie, gdy pierwiastki wejdą ze sobą w reakcję.

Po drugie, podczas eksperymentów niektóre grupy atomów trzymają się razem i zachowują się jak całość. Nazwano je **rodnikami** i one również mogą być dodatnie lub ujemne. Największe znaczenie mają w chemii organicznej, która zajmuje się badaniem innych pokrewnych związków chemicznych zawierających węgiel, takich jak estry, alkoho-

le i benzeny. To fascynująca grupa związków mających strukturę pierścieniową. Wielu chemików z zapałem przystąpiło do prób ich sklasyfikowania, aby zrozumieć, jak są zbudowane i jak reagują. I zrobiono to nie tylko dlatego, że wiele z tych substancji znalazło zastosowanie w przemyśle. Coraz częściej takie chemikalia przemysłowe powstawały nie w małych laboratoriach, a w fabrykach. Rosło zapotrzebowanie na nawozy sztuczne, farby, leki, barwniki i – zwłaszcza od połowy XIX wieku – na produkty ropopochodne. Powstał współczesny przemysł chemiczny, a bycie chemikiem stało się zawodem, a nie pasją ludzi ciekawych świata lub bogatych.

Pierwiastki mają własne unikalne właściwości chemiczne i fizyczne. W miarę ich poznawania badacze zaczęli dostrzegać w nich pewne prawidłowości. Wydawało się, że atomy niektórych pierwiastków, takich jak wodór, sód czy chlor, chciały łączyć się z innymi atomami tylko pojedynczo. Na przykład jeden atom wodoru i jeden atom chloru tworzyły silny kwas solny (HCl). Pojedyncze atomy innych pierwiastków, między innymi tlenu, baru i magnezu, przyłączają do siebie pary innych atomów lub rodników, więc na jeden atom tlenu potrzebne są dwa atomy wodoru, aby powstała cząsteczka wody. Niektóre pierwiastki są jeszcze bardziej elastyczne, a poza tym zawsze istnieją wyjątki, które utrudniają sformułowanie ogólnych, jednolitych reguł. Pierwiastki (i rodniki) różnią się między sobą także gotowością do wchodzenia w reakcje chemiczne. Fosfor jest tak aktywny, że trzeba z nim postępować bardzo ostrożnie, z kolei krzem z trudem wchodzi w reakcje chemiczne, przez co jest dużo mniej niebezpieczny.

Pierwiastki znacznie różnią się też właściwościami fizycznymi. W normalnych temperaturach wodór, tlen, azot i chlor przyjmują postać gazową, a rtęć i sód – ciekłą. Więk-

szość pierwiastków występuje w stałym stanie skupienia, w tym metale, takie jak ołów, miedź, nikiel i złoto, oraz niemetale, przede wszystkim węgiel i siarka (dokładnie przebadane). Wystarczy jednak umieścić większość ciał stałych w piecu, a z łatwością się roztopią, a czasami nawet wyparują (zmienią się w gaz). Płynna rtęć i sód również bez problemu (co groźne) parują. Dziewiętnastowieczni chemicy nie byli w stanie osiągnąć dostatecznie niskich temperatur, aby zamienić gazy, takie jak tlen i azot, w ciecze. Zdawali sobie jednak sprawę z tego, że problem ma wyłącznie techniczny charakter. Generalnie każdy pierwiastek może – w odpowiednich warunkach – istnieć w trzech stanach skupienia: stałym, ciekłym i gazowym.

W połowie XIX wieku chemia była już nauką dojrzałą i w tym ekscytującym okresie trwały dysputy o względnej masie atomów, sposobach wiązania ich w cząsteczki, różnicach między związkami organicznymi a nieorganicznymi oraz o wielu innych zagadnieniach. W latach sześćdziesiątych XIX wieku miało miejsce coś, co pomogło stworzyć nowoczesną chemię. Dziś wydaje się to czymś całkiem normalnym, ale wówczas było niezwykłe – międzynarodowa konferencja. Przed pojawieniem się telefonów i e-maili, gdy podróżowanie nie było tak łatwe jak dziś, naukowcy rzadko się spotykali. Na ogół komunikowali się drogą listowną. Wysłuchanie naukowca z zagranicy, rozmowa o jego pracy i otwarta dyskusja po jego wystąpieniu były niezwykle rzadkimi wydarzeniami. Międzynarodowe sympozja zaczęto organizować w połowie XIX wieku, gdy pociągi i statki parowe ułatwiły podróże. Naukowcy mogli spotkać się z kolegami z różnych krajów i podyskutować. Takie konferencje były także głoszeniem światu szeroko podzielanej przez środowisko naukowe wiary, że nauka jest obiektywna i międzynaro-

dowa, że stoi ponad religią i polityką, które często dzielą ludzi, a nawet pchają całe narody do wojen.

Trzydniowy zjazd chemików odbył się w 1860 roku w Karlsruhe, w Niemczech. Przyjechało wówczas wielu wybitnych młodych badaczy z całej Europy, w tym trzech, którzy mieli wytyczać kierunki rozwoju chemii przez resztę stulecia. Tematy spotkania określił Friedrich August Kekulé (1829–1896). Chciał, aby chemicy z różnych krajów uzgodnili wspólne stanowisko dotyczące słownictwa używanego do definiowania badanych substancji, a także natury atomów i cząsteczek. Zapalczywy włoski chemik z Sycylii, Stanislao Cannizzaro (1826–1910), już wcześniej się za tym opowiadał, więc chętnie przyłączył się do postulatów kolegi. Podobnie zrobił rosyjski chemik z Syberii, Dmitrij Iwanowicz Mendelejew (1834–1907). Delegaci przez trzy dni dyskutowali na tematy zaproponowane przez Kekulégo i choć nie osiągnęli pełnej zgody, ziarna zostały zasiane.

Na zjeździe wielu naukowców otrzymało kopie artykułu opublikowanego przez Cannizzara w 1858 roku. Podsumował w nim historię chemii w pierwszej połowie stulecia. Nawoływał chemików, aby poważnie potraktowali prace jego kolegi Avogadra, który jednoznacznie odróżnił atom od cząsteczki. Ponadto Cannizzaro przekonywał, jak ważne jest ustalenie względnych mas atomowych pierwiastków, i pokazał, jak można je wyliczyć.

Mendelejew pochodził z wielodzietnej rodziny. Wiele zawdzięczał swojej wspaniałej matce, dzięki której mógł uczyć się chemii w Sankt Petersburgu. Jak wielu wybitnych chemików tamtych czasów, napisał podręcznik oparty na własnych eksperymentach i tym, czego uczył swoich studentów. Podobnie jak Cannizzaro, chciał zaprowadzić porządek w danych na temat odkrytych pierwiastków. Niektóre schematy już rozpracowano, na przykład wszystkie halogeny

(fluorowce), do których zalicza się między innymi chlor, brom i jod, reagowały w podobny sposób. W reakcjach chemicznych można też było zastąpić jeden fluorowiec drugim. Niektóre metale, jak miedź i srebro, również wykazywały pewne podobieństwa w reagowaniu. Mendelejew zaczął tworzyć listę pierwiastków, porządkując je według względnych mas atomowych (wodór wciąż miał masę atomową równą 1). Swoje koncepcje przedstawił w 1869 roku.

Mendelejew zrobił coś więcej, niż tylko uszeregował pierwiastki według mas atomowych. Stworzył tablicę z rzędami i kolumnami. Czytając ją, można było dostrzec okresowo powtarzające się zależności między pierwiastkami o podobnych właściwościach chemicznych. Początkowo ta „tablica okresowa", jak nazwał ją Mendelejew, była dosyć prosta i niewielu chemików zwróciło na nią uwagę. Gdy Mendelejew zaczął ją uzupełniać szczegółowymi danymi, stało się coś ciekawego – zorientował się, że w niektórych miejscach jakby brakowało jakichś pierwiastków. Z tablicy wynikało, że powinny istnieć substancje pasujące do schematu, ale nie zostały jeszcze odkryte. Prawdę mówiąc, brakowało jeszcze całej grupy pierwiastków (całej kolumny późniejszego układu okresowego), na co wskazywały względne masy atomowe. Wiele lat później okazało się, że w tablicy powinny jeszcze znaleźć się niereaktywne gazy, zwane gazami szlachetnymi. Najważniejsze z nich odkryto już w ostatnim dziesięcioleciu XIX wieku. Mendelejew początkowo nie chciał zaakceptować tych odkryć. Wkrótce jednak ustalono masy atomowe helu, neonu i argonu i zdał sobie sprawę z tego, że pierwiastki te pasują do jego tablicy okresowej.

W latach siedemdziesiątych i osiemdziesiątych XIX wieku chemicy odkryli kilka pierwiastków, które Mendelejew „przewidział" na podstawie swojej tablicy. Wielu uczonych odrzuciło jego sugestie, że muszą istnieć pierwiastki nazwa-

ne berylem i galem, i uznało je za niedorzeczne spekulacje. Jednak doceniono potęgę tablicy Mendelejewa, gdy poprzez kolejne odkrycia stopniowo zaczęto uzupełniać wskazane przez niego brakujące w niej pozycje. Z tablicy wynikało, jakich nowych pierwiastków należy szukać w przyrodzie, jakie są ich właściwości i zdolności reagowania z innymi substancjami. To, co Mendelejew stworzył, aby lepiej zrozumieć cechy pierwiastków, stało się kluczem do zrozumienia, jak zachowuje się sama natura. Na podstawie tej tablicy opracowano **układ okresowy pierwiastków**, który teraz wisi w szkolnych klasach i laboratoriach chemicznych na całym świecie.

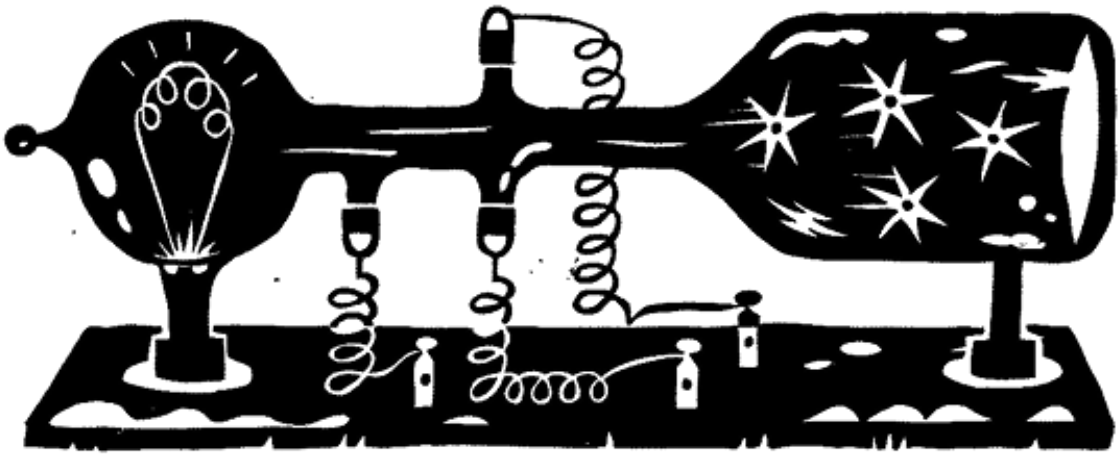
Przez większość XIX wieku chemicy zajmowali się ustalaniem składu związków chemicznych, to znaczy tworzących je atomów i rodników. Pomysłodawca pierwszego międzynarodowego kongresu chemików, Friedrich August Kekulé, poszedł dalej. Zachęcał kolegów, aby starali się ustalić strukturę związków chemicznych. Współczesna chemia i biologia molekularna opierają się na wiedzy o tym, jak atomy i cząsteczki są uporządkowane w związku chemicznym – jaką strukturę tworzą i w których miejscach tej struktury się znajdują. Bez tej wiedzy nie byłoby możliwe na przykład opracowywanie nowych leków. Kekulé był pionierem w tej dziedzinie. Opowiadał, że miał sen, w którym zobaczył łańcuch atomów węgla zwijający się niczym wąż zjadający własny ogon. Sen był inspiracją jednego z jego największych dokonań – odkrycia struktury benzenu. Ten zbudowany z wodoru i węgla związek chemiczny ma zamkniętą strukturę pierścieniową, a rodniki lub atomy mogą się przyczepiać do niego w określonych pozycjach. Był to znaczący postęp w chemii organicznej.

Sny to jedno, żmudna praca to drugie. Kekulé spędził wiele godzin w laboratorium, wykonując doświadczenia. Nadał

sens chemii organicznej, czyli chemii związków węgla. Uczył całą społeczność chemików, jak klasyfikować związki organiczne w naturalne rodziny. Fascynowała go uniwersalna zdolność węgla do przyłączania innych atomów i rodników. Metan – gaz powszechnie stosowany do ogrzewania i oświetlania – miał wzór CH_4, czyli jeden atom węgla przyłączał cztery atomy wodoru. Dwa atomy tlenu mogły się połączyć z jednym atomem węgla i utworzyć dwutlenek węgla CO_2. Jednak te „preferencje" atomów nie były tak ścisłe, jak się początkowo wydawało, czego dowodził fakt, że węgiel i tlen mogły też utworzyć CO – śmiertelnie trujący tlenek węgla.

Chemicy wymyślili słowo nazywające takie wzorce połączeń – **wartościowość**. Można było ją wydedukować na postawie pozycji pierwiastka w tablicy Mendelejewa. Uczeni zastanawiali się, dlaczego tak jest. Zrozumieli to wraz z odkryciem przez fizyków wewnętrznej struktury atomu i elektronu. Elektron połączył wiedzę chemików o atomie z wynikami badań fizyków nad atomem, o czym opowiemy w następnym rozdziale.

ROZDZIAŁ 30



Wewnątrz atomu

Chemicy lubili atom. To on wchodził w reakcje chemiczne i zajmował określone miejsca w cząsteczkach. Miał właściwości, które najogólniej definiowała jego pozycja w tablicy Mendelejewa. Każdy atom, łącząc się z innymi atomami, przyjmował dodatni lub ujemny ładunek i inne wzorce tworzenia wiązań chemicznych, czyli wartościowość. Chemicy doceniali także różnice między pojedynczym atomem a grupą powiązanych atomów w cząsteczce. Wiedzieli, że większość pierwiastków istnieje w postaci jednoatomowej, ale niektóre atomy, na przykład wodór i tlen, naturalnie występują w postaci cząsteczkowej (H_2 i O_2). Z coraz większą dokładnością dokonywali pomiarów względnych mas atomowych, przy czym wodorowi zawsze przypisywali masę równą 1.

Jednak żaden z tych faktów nie przybliżał chemików do poznania struktury atomów. Mogli nimi manipulować w laboratoriach, ale nie potrafili powiedzieć, jak i z czego zbudowany jest atom.

Przez prawie cały XIX wiek fizycy interesowali się głównie kwestiami: jak zachować energię, jak zmierzyć elektryczność i magnetyzm, jaka jest natura ciepła i dlaczego gazy zachowują się tak, a nie inaczej. Fizyczna teoria gazów, zwana teorią kinetyczną, opierała się na atomach i cząsteczkach. Jednak fizycy, podobnie jak chemicy, zgodzili się, że choć teoria atomowa jest bardzo pomocna w wyjaśnianiu obserwacji i pomiarów, prawdziwą naturę atomów trudno jest zrozumieć.

Pierwszym sygnałem, że atomy nie są prostymi, najmniejszymi jednostkami materii, było odkrycie jednego z tworzących je elementów – elektronu. Z doświadczeń wynikało, że atomy mogą mieć ładunek elektryczny, ponieważ przy przepuszczaniu prądu elektrycznego przez roztwór niektóre atomy były przyciągane przez biegun dodatni, inne – przez ujemny. Fizycy nie byli pewni, czy właściwości elektryczne atomów odgrywają jakąkolwiek rolę w reakcjach chemicznych. Mimo wszystko zmierzyli ich ładunki i okazało się, że są one wielokrotnościami pewnej wielkości. Tę jednostkę ładunku elektrycznego nazwano **elektronem** w 1894 roku, tuż po tym, jak Joseph John Thomson (1856–1940) z Cambridge zaczął używać lampy katodowej w swoich eksperymentach.

Lampa katodowa to dość proste urządzenie. Zadziwiające, że coś tak nieskomplikowanego mogło dostarczyć informacji, które doprowadziły do poznania fundamentalnej struktury atomu i wszechświata. Z lampy odsysano większość powietrza, aby uzyskać warunki zbliżone do próżni. Na obu końcach lampy umieszczano elektrody. Gdy przez lampę płynął prąd elektryczny, działy się interesujące rzeczy, między innymi pojawiało się promieniowanie (strumienie energii albo cząstek). W lampie katodowej były to głównie szybko poruszające się, naładowane cząstki. Thomson wraz

z kolegami z Laboratorium im. Cavendisha zmierzył ładunek elektryczny i wagę niektórych z nich. Próbował ustalić, jak te dwie wartości są ze sobą powiązane. W 1897 roku Thomson przedstawił teorię, że zaobserwowane promieniowanie to strumienie naładowanych cząstek elementarnych, czyli wewnętrznych elementów atomu. Oceniał, że ich waga stanowi tylko ułamek masy najlżejszego atomu – wodoru. Fizycy dopiero po kilku latach przyznali, że Thomson rzeczywiście odkrył elektron – jednostkę ładunku elektrycznego, którą od pewnego czasu mierzyli.

Zatem atomy zawierają elektrony. Co jeszcze? Odpowiedź poznawano stopniowo na podstawie wyników doświadczeń z lampą katodową. Gdy w jej wnętrzu udało się uzyskać lepszą próżnię, można było przepuszczać przez nią silniejszy prąd elektryczny. Te udoskonalenia techniczne wykorzystał między innymi dawny student, współpracownik i kontynuator prac Thomsona w Laboratorium im. Cavendisha w Cambridge, Nowozelandczyk Ernest Rutherford (1873–1937). W ostatnich latach XIX wieku Rutherford i Thomson zidentyfikowali dwa rodzaje promieniowania emitowanego przez uran – pierwiastka o dużym znaczeniu w fizyce.

Jeden rodzaj tego promieniowania można było odchylić w polu magnetycznym, drugi – nie. Rutherford, nie wiedząc, czym są te promieniowania, nazwał je po prostu „alfa” i „beta” (czyli A i B w języku greckim). Nazwy się przyjęły. Naukowiec przez kolejne dekady eksperymentował z oboma rodzajami dziwnego promieniowania. Okazało się, że nie tylko uran je emituje, robi to cała grupa pierwiastków. Na początku XX wieku wzbudziły one duże zainteresowanie wśród fizyków i do dziś pozostały bardzo ważne. To pierwiastki promieniotwórcze, wśród których najczęściej występują uran, rad i tor. Gdy naukowcy zaczęli badać ich wyjąt-

kowe właściwości, dowiedzieli się istotnych rzeczy o strukturze atomu.

Najważniejsze było promieniowanie alfa. (Mówi się też o cząstkach alfa, ale w bardzo małym i bardzo szybkim świecie fizyki atomowej to rozróżnienie się zaciera). Rutherford i jego współpracownicy kierowali to promieniowanie na bardzo cienkie arkusze metalu i obserwowali jego zachowanie. Zwykle cząsteczki przechodziły przez arkusz metalu. Czasami jednak się od niego odbijały. Można wyobrazić sobie zaskoczenie Rutherforda, gdy zastanawiał się nad tym, co widział; to tak jakby strzelał ciężkimi kulami armatnimi w kartkę papieru, a ona niektóre z nich odbijała. Z eksperymentu wynikało, że odbite cząstki alfa natrafiły na bardzo gęstą część atomów, z których zbudowany był arkusz metalu. To zagęszczenie nazwano **jądrem atomowym**. Doświadczenia Rutherforda pokazały, że atomy składają się głównie z pustej przestrzeni i dlatego większość cząstek alfa przechodzi na drugą stronę arkusza metalu. Tylko te, które zderzyły się z silnie skoncentrowaną masą w centralnym jądrze, odbijały się od powierzchni. Kolejne eksperymenty pokazały, że jądro jest naładowane dodatnio. Fizycy zaczęli podejrzewać, że dodatni ładunek jądra równoważą ujemnie naładowane elektrony, które krążą w pustej przestrzeni wokół jądra.

Rutherforda uznano za twórcę fizyki jądrowej. Za swoje odkrycia w 1908 roku otrzymał Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii. (Nagroda upamiętnia jej szwedzkiego fundatora i jest najwyższym wyróżnieniem naukowym od czasu jej ustanowienia w 1901 roku. Zdobycie jej jest celem wielu ambitnych naukowców).

Rutherford potrafił przyciągać wybitnych studentów i współpracowników, kilku z nich za swoją działalność również dostało Nagrody Nobla. Jednym z nich był Niels Bohr

(1885–1962) z Danii. Skorzystał z modelu budowy atomu Rutherforda, z prawie całą masą atomu skoncentrowaną w niewielkim jądrze, i zastosował wobec niego postulaty nowej **fizyki kwantowej**. W ten sposób w 1913 roku opracował model budowy atomu, nazwany jego nazwiskiem. Model Bohra dobrze oddawał to, co dzieje się wewnątrz atomu, zgodnie z ówczesnym stanem wiedzy. Duński chemik wyobraził sobie, że struktura atomu przypomina Układ Słoneczny. (Słońce to jądro położone w centrum, a planety to elektrony krążące wokół niego po orbitach). W tym modelu ciężar dodatnio naładowanego jądra nadawał atomowi masę, a zatem wyznaczał mu miejsce w tabeli Mendelejewa. Jądro tworzyły dodatnio naładowane **protony**. Im cięższy atom, tym więcej protonów ma w jądrze. Liczba protonów i elektronów musiała być równa, aby atom jako całość pozostał elektrycznie obojętny. Elektrony krążyły wokół jądra po różnych orbitach (i właśnie w tym miejscu wkraczała fizyka kwantowa). Jedną z najbardziej błyskotliwych koncepcji fizyki kwantowej jest stwierdzenie, że wszystko w przyrodzie występuje w ściśle określonych porcjach, czyli kwantach (o nich opowiemy w rozdziale 32). Dotyczy to masy, energii i innych elementów. W modelu Bohra elektrony krążące wokół jądra występowały w różnych, odrębnych stanach kwantowych. Elektrony znajdujące się najbliżej jądra były najmocniej przyciągane przez jądro. Te bardziej oddalone były słabiej związane z jądrem i mogły uczestniczyć w reakcjach chemicznych albo generować elektryczność lub magnetyzm.

Jeśli wydaje ci się to dość trudne, nie przejmuj się. Fizyka kwantowa jest skomplikowana. Bohr o tym wiedział, ale jego model pozwolił fizykom i chemikom mówić tym samym językiem. Jego model opierał się na wynikach doświadczeń fizycznych, ale wychodził też poza nie, aby wyjaśniać obser-

wacje, których dokonywali chemicy w laboratoriach. W szczególności pomógł im zrozumieć, dlaczego pierwiastki w tablicy Mendelejewa zachowują się tak, a nie inaczej, i mają różną wartościowość, czyli różne wzorce tworzenia wiązań chemicznych. Atomy pierwiastków, które przyłączały się do innych pojedynczo, robiły tak dlatego, że miały tylko jeden **wolny elektron**. Pozostałe atomy przybierały inną wartościowość, ponieważ miały więcej wolnych elektronów. Model atomu Bohra stał się jedną z ikon współczesnej nauki, mimo że obecnie wiemy, iż atomy są znacznie bardziej skomplikowane, niż sądził Bohr.

Pojawiło się mnóstwo kolejnych pytań. Po pierwsze, jak dodatnio naładowane protony utrzymują się w ciasnej przestrzeni jądra atomowego? W przypadku ładunków elektrycznych, tak jak i magnesów, identyczne się odpychają, a przeciwne przyciągają. Dlaczego zatem protony nie odpychają się nawzajem i nie przyciągają do siebie elektronów? Po drugie, najlżejszym znanym atomem jest wodór o masie atomowej równej 1. Załóżmy, że składa się z jednego protonu i prawie nic nieważącego elektronu. Można z dobrym przybliżeniem przyjąć, że proton ma masę atomową równą 1. Dlaczego zatem masy atomowe pierwiastków w tablicy Mendelejewa nie rosną stopniowo, to znaczy nie przyjmują wartości 1, 2, 3, 4, 5 itd.?

Z odpowiedzią na pierwsze pytanie trzeba było poczekać, aż mechanika kwantowa bardziej się rozwinie. Druga zagadka, dotycząca przeskoków w sekwencji mas atomowych, została rozwiązana znacznie wcześniej przez innego kolegę Rutherforda z Cambridge, Jamesa Chadwicka (1891–1974). W 1932 roku Chadwick ogłosił wyniki swoich doświadczeń z bombardowaniem materii promieniowaniem. Już dla Rutherforda była to ważna metoda badania struktury atomu. Chadwick wysłał strumień cząstek alfa w swój ulubiony me-

tal – beryl. Stwierdził, że beryl czasami emituje cząstkę o masie atomowej równej 1, ale bez ładunku elektrycznego, czyli **neutron**. Tym pojęciem posłużył się już Rutherford, ale sądził, że to para proton i elektron. Wkrótce jednak stało się jasne, że to osobna cząstka elementarna. Neutron stanowił rodzaj brakującego ogniwa pozwalającego fizykom wyjaśnić wielkość mas atomowych pierwiastków i ich pozycje w tablicy Mendelejewa. Ta tablica, stopniowo udoskonalana i zmieniona w układ okresowy pierwiastków, wciąż okazywała się bardzo przydatną reprezentacją podstawowych jednostek materii na naszej planecie. Odkrycie neutronu zaowocowało odkryciem **izotopów**. Czasami atomy tego samego pierwiastka mają odmienne masy atomowe, jakby różniły się liczbą neutronów w jądrze. Izotopy są zatem atomami tego samego pierwiastka, ale o różnej masie atomowej. Nawet wodór może czasami mieć masę atomową 2, zamiast 1, gdy w jądrze oprócz protonu ma też neutron. Chadwick został laureatem Nagrody Nobla w dziedzinie fizyki za odkrycie neutronu i jego właściwości (stało się to zaledwie trzy lata po przeprowadzeniu przez niego badań).

Neutron okazał się potężną bronią do bombardowania jąder atomów. Ponieważ nie ma żadnego ładunku, nie jest w naturalny sposób odpychany przez ciężkie, dodatnio naładowane jądro, z ciasno upakowanymi protonami. Chadwick to zauważył. Ponadto wiedział, że jeśli chce się rozbijać atomy, potrzebna jest maszyna, która mogłaby przyspieszać neutrony do dużych prędkości i nadawać im potężną energię. Taka maszyna to **akcelerator cząstek**, a jeśli ma budowę kołową, nazywa się cyklotronem bądź synchrotronem. W akceleratorach używa się bardzo silnych pól magnetycznych, które rozpędzają atomy i cząstki niemal do prędkości światła. Aby przeprowadzić tego typu badania, Chadwick opuścił Cambridge i przeniósł się na uniwersytet w Liverpo-

olu, który otrzymał fundusze na budowę cyklotronu. Tam przekonał się, że uderzając szybkimi neutronami w ciężkie atomy, takie jak uran, można wygenerować ogromne ilości energii. Jeśli taka energia zostałaby wykorzystana, mogłaby zapoczątkować reakcję łańcuchową prowadzącą do ważnego rezultatu – rozszczepienia atomu. Bomba atomowa, zbudowana i użyta podczas drugiej wojny światowej, to efekt tych prac, a Chadwick był szefem projektu Manhattan po stronie brytyjskiej. (Projekt Manhattan to nazwa programu naukowo-badawczego zmierzającego do konstrukcji i produkcji bomby atomowej).

Wielu naukowców sądziło, że odkrycie neutronu przez Chadwicka rozwiązało problemy ze strukturą atomów (podstawowych jednostek budowy materii we wszechświecie). Jednak się mylono. Wiele zaskakujących faktów czekało jeszcze na odkrycie. Już nawet rozumienie podstawowych własności elektronu, protonu i neutronu postawiło fizyków przed faktem istnienia różnych fal i cząstek, takich jak alfa, beta i gamma. Musieli jeszcze wyjaśnić inne bliżej nieznane zjawiska, między innymi promieniowanie rentgenowskie i wymianę kwantów. Fizyka jądrowa i mechanika kwantowa to obszary najbardziej zaawansowanej nauki XX wieku.

ROZDZIAŁ 31

Promieniotwórczość

Kiedy złamiesz kość albo przypadkowo coś połkniesz, w przychodni lub szpitalu wykonują ci prześwietlenie, aby lekarz mógł zajrzeć do wnętrza twojego ciała bez otwierania go operacyjnie. Zdjęcia rentgenowskie to dzisiaj codzienność. Pod koniec XIX wieku wywołały sensację. Promieniowanie rentgenowskie było pierwszym rodzajem promieniowania ujarzmionego i wykorzystanego, zanim nawet jeszcze w pełni zrozumiano jego znaczenie. Później zajęto się promieniotwórczością, zwaną też radioaktywnością, i bombami atomowymi.

Promieniowanie rentgenowskie nazwano na cześć niemieckiego fizyka Wilhelma Röntgena (1845–1923). On sam nazwał je promieniami X i do dziś tę nazwę stosuje się w krajach anglosaskich. Nie on pierwszy dostrzegł ich moc, ale pierwszy zdał sobie sprawę z tego, co widzi. W nauce często tak bywa – nie wystarczy po prostu zobaczyć, trzeba jeszcze zrozumieć, na co się patrzy.

Pod koniec XIX wieku Röntgen i inni fizycy (wystarczy wspomnieć Josepha Johna Thomsona) używali lampy katodowej. Ósmego listopada 1895 roku niemiecki fizyk zauważył, że oddalona od lampy katodowej płytka fotograficzna, mimo że była przykryta czarnym papierem chroniącym ją przed światłem, została w tajemniczy sposób naświetlona. W tamtych czasach uczeni zakładali, że promienie katodowe nie działają na taką odległość. Przez następne sześć tygodni Röntgen zgłębiał to, co się stało. Inni fizycy zaobserwowali to samo zjawisko, ale nie zajęli się nim, a Röntgen odkrył, że jest to nowe promieniowanie, które rozchodzi się w linii prostej, a pole magnetyczne nie ma na nie wpływu. Inaczej niż w przypadku światła nie odbijały go ani nie odchylały szklane soczewki. Mogło natomiast przeniknąć przez ciała stałe, w tym przez rękę żony naukowca! Pani Röntgen pozowała do pierwszego zdjęcia rentgenowskiego, a jej pierścionek zaręczynowy jest wyraźnie widoczny wraz z kośćmi jej dłoni. Ponieważ Röntgen nie wiedział, czym dokładnie jest to promieniowanie, nazwał je po prostu promieniami X. Po sześciu tygodniach ciężkiej pracy ogłosił swoje odkrycie światu.

Zdjęcia rentgenowskie natychmiast stały się hitem. Od razu zdano sobie sprawę z ich medycznego zastosowania do diagnozowania złamań kości albo lokalizowania w ciele przedmiotów, które nie powinny się w nim znaleźć. Mało odkryć zostało z miejsca podchwyconych przez szeroką publiczność. W sprzedaży prawie natychmiast pojawiła się bielizna odporna na promieniowanie rentgenowskie, a fizycy debatowali nad naturą promieni X ponad kolejną dekadę. W trakcie dalszych badań ustalono, że jest to promieniowanie o wyjątkowo krótkiej długości fali i wysokiej energii. Dość wcześnie pracownicy laboratoryjni zauważyli, że może ono niszczyć ludzkie ciało, powodując oparzenia. Dlatego

już w 1896 roku próbowano wykorzystać je do zwalczania komórek nowotworowych. Nieco dłużej zajęło ludziom uświadomienie sobie, jak może ono być niebezpieczne. Na skutek napromieniowania kilku z pierwszych badaczy zmarło na białaczkę, czyli nowotwór układu krwiotwórczego. Zatem promieniowanie rentgenowskie może zarówno zwalczać raka, jak i go wywoływać.

W czasie gdy Röntgen pracował nad promieniami X, we Francji odkryto inny rodzaj promieniowania – radioaktywność (promieniotwórczość). Henri Becquerel (1852–1908) zajmował się badaniem fluorescencji, czyli naturalnego zjawiska emitowania światła przez niektóre substancje. Używał świecącego fluorescencyjnie związku uranu. Gdy stwierdził, że ten związek prześwietla płytkę fotograficzną, podobnie jak promieniowanie rentgenowskie, uznał, że po prostu znalazł inne źródło tego samego tajemniczego promieniowania. Jednak w 1896 roku odkrył, że jego promienie nie działają tak jak rentgenowskie. Był to inny rodzaj promieniowania, które co prawda nie umożliwiało „zaglądania" pod ubranie czy skórę, ale i tak warto było mu się przyjrzeć.

W Paryżu to ambitne wyzwanie podjęło małżeństwo słynnych fizyków: Pierre Curie (1859–1906) i Maria Skłodowska-Curie (1867–1934). W 1898 roku dostali tonę blendy uranowej, czyli smolistą rudę bogatą w uran. Gdy wyodrębnili z niej czysty uran, doznali popromiennych poparzeń rąk. Odkryli także dwa nowe pierwiastki radioaktywne, które nazwali rad i polon (na cześć ojczyzny Marii). Miały one właściwości podobne do uranu, więc naukowcy z całego świata chcieli dowiedzieć się jak najwięcej o ich silnym promieniowaniu. Pierwiastki te emitowały promieniowanie beta (strumienie elektronów), alfa (będące atomami helu bez elektronów, a zatem dodatnio naładowanymi, co

w 1899 roku wykazał Rutherford) oraz gamma (bez ładunku; później dowiedziono, że są to fale elektromagnetyczne podobne do promieniowania rentgenowskiego). Małżeństwo Curie z prawdziwym oddaniem poświęciło się nauce, a ich dokonania zostały uhonorowane Nagrodą Nobla. Po śmierci Pierre'a w wypadku ulicznym Maria kontynuowała ich dzieło, mimo że musiała także zajmować się wychowaniem dwóch małych córek.

Odkrycie promieniotwórczości było niemal spełnieniem dawnego marzenia alchemików o transmutacji jednego pierwiastka w drugi. „Niemal", ponieważ alchemicy chcieli zmieniać ołów lub inny zwykły metal w złoto. Promieniotwórczość zmieniała uran w ołów, czyli bezcenny metal w zwykły! Ale jednak. Natura potrafiła dokonać czegoś, o czym alchemicy mogli jedynie śnić.

Promieniotwórczość, podobnie jak promieniowanie rentgenowskie, ma zastosowanie w medycynie. Szczególnie przydatny okazał się rad. Zaczęto go używać do zabijania komórek rakowych. Jednak radioaktywność w zbyt dużej dawce, tak jak promieniowanie rentgenowskie, powoduje powstawanie nowotworów. Wielu pierwszych badaczy, w tym sama Maria Skłodowska-Curie, zmarło na skutek promieniotwórczości, zanim wdrożono odpowiednie zasady bezpieczeństwa. Jej córka, Irène Joliot-Curie, która również dostała Nagrodę Nobla w dziedzinie chemii, zmarła wcześnie na białaczkę.

Uran, tor, polon i rad są pierwiastkami promieniotwórczymi. Co to oznacza? Fizycy mówią o nich, że są „ciężkie". Jądra atomowe mają gęsto „upakowane" i przez to niestabilne. Skutki tej niestabilności wykrywamy jako promieniowanie radioaktywne. Następuje **rozpad promieniotwórczy**, ponieważ przy emisji cząstek pierwiastek dosłownie rozpada się i staje innym pierwiastkiem, zajmującym inne miej-

sce w układzie okresowym. Badania tych rozpadów pozwoliły uzupełnić kolejne wolne miejsca w tablicy Mendelejewa.

Rozpady promieniotwórcze stały się również podstawą metody datowania wydarzeń w historii Ziemi, czyli tzw. **datowania radiometrycznego**. Ernest Rutherford był w tym pionierem i w 1905 roku zasugerował, że ta technika pomoże w ustaleniu wieku Ziemi. Fizycy obliczają, ile czasu połowie atomów naturalnie radioaktywnego pierwiastka (na przykład uranu) zajmuje rozpad aż do produktu końcowego (w przypadku uranu do ołowiu). Ten przedział czasowy nazwano okresem połowicznego rozpadu. W zależności od pierwiastka promieniotwórczego może on wynosić od kilku sekund do milionów lat. Znając okresy połowicznego rozpadu pierwiastka, można datować wydarzenia w dziejach Ziemi na podstawie dowolnej naturalnej próbki, takiej jak skamielina lub skała. Wystarczy sprawdzić, ile zawiera pierwotnego pierwiastka i produktu jego rozpadu. Stosunek tych dwóch pomiarów wskazuje wiek próbki. Jeden z nietypowych izotopów węgla (C_{14}) wykazuje naturalną promieniotwórczość, a zatem jego okres połowicznego rozpadu można wykorzystywać do datowania skamieniałych szczątków roślin i zwierząt żyjących w dawnych epokach. Ta metoda to **datowanie radiowęglowe**. Wszystkie organizmy żywe pobierają węgiel przez całe swoje życie. Gdy umierają, proces ten zostaje zatrzymany. Dlatego, mierząc zawartość radioaktywnego węgla w skamielinach, można ustalić, kiedy powstały. Datowanie radiowęglowe można zastosować także do badania wieku skał. Ta technika zmieniła paleontologię, ponieważ dzięki niej znamy przybliżony wiek skamieniałych organizmów, a nie tylko potrafimy wskazać, które są starsze albo młodsze.

Fizycy szybko dostrzegli, że przy emisjach radioaktywnych wydziela się dużo energii. W przyrodzie rzadko występują

naturalnie radioaktywne pierwiastki (np. uran), oraz izotopy promieniotwórcze rozpowszechnionych pierwiastków (np. węgiel). Jednak gdy zbombarduje się atomy cząstkami alfa lub neutronami, można sprawić, że wiele pierwiastków będzie sztucznie promieniować. Dzięki temu ustalono, ile energii jest zgromadzonej w jądrach pierwiastków. W ostatnim stuleciu wielu fizyków zastanawiało się nad tym, jak ją wykorzystać.

Gdy zbombardujemy atom i spowodujemy, że zacznie emitować cząstki alfa ze swojego jądra, rozszczepiamy go i powstaje inny pierwiastek. To **rozpad promieniotwórczy** jąder atomowych. Proces odwrotny, czyli **fuzja jądrowa (synteza jądrowa)**, zachodzi, gdy jądro atomu wchłania cząsteczkę i zajmuje nowe miejsce w układzie okresowym pierwiastków. Zarówno przy rozpadzie, jak i fuzji uwalniana jest energia. Możliwość syntezy jądrowej została udowodniona pod koniec lat trzydziestych XX wieku przez niemieckich i austriackich fizyków, między innymi Lise Meitner (1878–1968). Meitner, z pochodzenia Żydówka, przeszła na chrześcijaństwo, ale i tak w 1938 roku musiała uciekać z nazistowskiej Rzeszy. Omówiła fuzję dwóch atomów wodoru w atom helu, który jest następnym pierwiastkiem układu okresowego. Z badań Słońca i innych gwiazd wynikało, że przekształcenie wodoru w hel jest podstawowym źródłem energii tych ciał niebieskich. (Hel został odkryty na Słońcu wcześniej niż na Ziemi. Jego atomy mają charakterystyczną długość fali, którą bada się za pomocą spektroskopu). Ta reakcja zachodzi w bardzo wysokich temperaturach, a w latach trzydziestych nie dało się jej osiągnąć w laboratorium. Jednak teoretycznie można skonstruować bombę wodorową (opartą na fuzji jądrowej), która podczas eksplozji uwalniałaby ogromną energię.

W latach trzydziestych XX wieku w zasięgu możliwości było natomiast skonstruowanie bomby atomowej (opartej na rozpadzie promieniotwórczym). Naziści kontynuowali agresję w Europie i wojna wydawała się coraz bardziej prawdopodobna. Naukowcy z kilku krajów, w tym Niemiec, pracowali w tajemnicy nad skonstruowaniem tej śmiercionośnej broni. Największe znaczenie dla tego procesu miały prace włoskiego fizyka Enrica Fermiego (1901–1954). Jego zespół badawczy wykazał, że bombardowanie atomów „spowolnionymi" neutronami może wywołać pożądany rozpad promieniotwórczy. Spowolnienie następowało, gdy neutrony przechodziły przez parafinę (lub podobną substancję) w drodze do bombardowanego celu. Wolniejsze neutrony miały większe szanse trafić w jądra atomowe i spowodować ich rozpad. Fermi opuścił Włochy w 1938 roku, uciekając przed faszystowskim reżimem sympatyzującym z nazistami. Pojechał do Stanów Zjednoczonych, podobnie jak wielu najlepszych naukowców (oraz pisarzy, artystów i myślicieli) w tamtym czasie. Dzisiaj niekiedy mówi się o „drenażu mózgów", co oznacza, że najlepsi naukowcy opuszczają ojczyznę w poszukiwaniu lepszych warunków życia w innych krajach: większych zarobków, lepiej wyposażonych laboratoriów czy lepszych szans na życie zgodne z ich marzeniami. Na przełomie lat trzydziestych i czterdziestych XX wieku uczeni emigrowali, ponieważ wyrzucano ich z pracy. Obawiali się też o własne życie i życie swoich rodzin. Naziści i faszyści byli bezwzględni. Zmienili także oblicze nauki. Ale na „drenażu mózgów" najwięcej zyskały Wielka Brytania i Stany Zjednoczone.

W Stanach Zjednoczonych wielu uchodźców przystąpiło do tajnego projektu Manhattan. Był to jeden z najdroższych programów naukowych, jaki kiedykolwiek zrealizowano, ale tamte czasy zmuszały do desperackich kroków. Pod koniec

lat trzydziestych znaczny postęp w wiedzy o promieniotwórczości przekonał wielu fizyków, że da się wywołać eksplozję nuklearną. Trudność polegała na jej kontrolowaniu. Niektórzy sądzili, że będzie to zbyt niebezpieczne – zapoczątkuje reakcję łańcuchową, która zniszczy całą planetę. Gdy w 1939 roku wybuchła wojna, brytyjscy i amerykańscy fizycy byli przekonani, że naukowcy niemieccy i japońscy pracują nad skonstruowaniem bomby atomowej, więc alianci muszą zrobić to samo. Kilku uczonych napisało list do prezydenta USA Franklina Delano Roosevelta, wzywający go do wydania zgody na uruchomienie programu konstrukcji broni jądrowej. Wśród nich był Albert Einstein, najsłynniejszy fizyk świata i uchodźca z nazistowskiej Rzeszy.

Prezydent Roosevelt wydał zgodę. Wiele badań, będących skutkiem tego fatalnego kroku, prowadzono w Tennessee, Chicago i Nowym Meksyku. Projekt Manhattan był objęty tajemnicą wojskową. Naukowcy przestali publikować wyniki swoich badań. Musieli zapomnieć o podstawowych ideach nauki: otwartości i wymianie informacji. Wojna zmieniła wartości i priorytety ludzi. Informacje o projekcie zatajono nawet przed Związkiem Radzieckim, choć był głównym sojusznikiem Stanów Zjednoczonych i Wielkiej Brytanii, jednak nie dość zaufanym w sprawie tajnej broni. W 1945 roku prace nad bombą atomową w Niemczech, Japonii i Związku Radzieckim nie były zbyt zaawansowane, mimo że jeden z naukowców pracujących w Stanach Zjednoczonych przekazywał informacje o niej Rosjanom. W ramach projektu Manhattan powstały dwie bomby. W jednej zastosowano uran, w drugiej – pluton (sztuczny pierwiastek promieniotwórczy). Mniejsza z próbnych bomb eksplodowała na amerykańskiej pustyni. Zadziałała. Bomby atomowe były gotowe do użycia.

Trzecia Rzesza skapitulowała 8 maja 1945 roku, więc na Europę nie spadła żadna bomba atomowa. Japonia kontynuowała wojnę na Pacyfiku. Nowy prezydent USA Harry Truman kazał zrzucić bombę uranową na Hiroszimę. Zdetonowano ją 6 sierpnia, odpalając jeden ładunek uranowy w drugi. Japonia wciąż się nie poddawała. Trzy dni później Truman kazał spuścić bombę plutonową na drugie japońskie miasto, Nagasaki. Zginęło wtedy około 300 tysięcy ludzi, głównie cywilów. Japonia skapitulowała. Wojna się skończyła. Dzisiaj każdy zna potęgę energii jądrowej. Nasz świat zmienił się na zawsze. Wielu naukowców, którzy wyprodukowali tę broń masowej zagłady, wiedziało, że ich dokonania pozwoliły zakończyć straszną wojnę, ale jednocześnie obawiało się tej potwornej broni.

Energia atomowa wciąż jest ważna w naszym świecie. Cały czas istnieje realna groźba jej użycia. Po drugiej wojnie światowej napięcia między Związkiem Radzieckim a Stanami Zjednoczonymi doprowadziły do zimnej wojny. Oba kraje zgromadziły duże zapasy broni nuklearnej. Na szczęście nigdy jej nie użyły. I choć z biegiem czasu zredukowały jej ilość na mocy zawieranych porozumień, liczba krajów posiadających broń jądrową wzrosła.

Fizycy pracujący przy projekcie Manhattan zostali również wykorzystani do bardziej pokojowego i kontrolowanego uwalniania energii. Elektrownie atomowe mogą dostarczać prąd elektryczny, emitując do atmosfery jedynie ułamek gazów cieplarnianych powstających przy spalaniu węgla i innych paliw kopalnych. We Francji prawie trzy czwarte energii elektrycznej pochodzi z elektrowni atomowych, a w Japonii – jedna czwarta. Niebezpieczeństwo awarii i groźby zamachów terrorystycznych powodują, że wiele osób obawia się energii jądrowej mimo korzyści, jakie ona przynosi. Różne zagadnienia współczesnej nauki i technologii lepiej

ilustrują nakładanie się polityki i wartości społecznych niż pytanie: co powinniśmy zrobić z wiedzą o energii jądrowej?

ROZDZIAŁ 32

Zmiana zasad: Einstein

Albert Einstein (1879–1955) znany jest z grzywy siwych włosów oraz teorii materii, energii, przestrzeni i czasu, a także z równania $E = mc^2$. Jego koncepcje bardzo trudno zrozumieć, ale zmieniły nasz sposób myślenia o wszechświecie. Pewnego razu zapytano go, jak wygląda jego laboratorium. W odpowiedzi Einstein wyciągnął z kieszeni pióro. A to dlatego, że był myślicielem i fizykiem teoretykiem, a nie naukowcem przeprowadzającym doświadczenia. Pracował przy biurku albo tablicy, a nie przy stole laboratoryjnym.

Mimo wszystko do swoich przemyśleń potrzebował danych, które można zebrać tylko w drodze eksperymentów. W szczególności opierał się na pracach niemieckiego fizyka Maksa Plancka (1858–1947), który zajmował się zarówno teorią, jak i doświadczeniami. Planck był czterdziestoletnim pracownikiem uniwersytetu w Berlinie, gdy dokonał fundamentalnego odkrycia. W ostatnich latach XIX wieku zaczął pracować nad żarówkami, aby dowiedzieć się, jak wyprodu-

kować taką, która daje jak najwięcej światła, ale zużywa mało prądu. W eksperymentach wykorzystywał koncepcję ciała doskonale czarnego, czyli hipotetycznego obiektu, który absorbuje całe padające na niego światło i nic nie odbija. Pomyśl, jak ci gorąco, gdy założysz czarną koszulkę w upał, a jak ci jest chłodniej w białej. Czarne ubranie pochłania energię promieniowania słonecznego, także energię dostarczaną wraz ze światłem. Jednak ciało doskonale czarne nie może przechowywać całej tej energii. W jaki sposób zatem ją oddaje?

Planck wiedział, że ilość absorbowanej energii zależy od długości (a zatem i częstotliwości) fal światła. Na podstawie bardzo dokładnych pomiarów energii i długości fal sformułował równanie $E = h\nu$. Mówi ono, że energia (E) jest równa częstotliwości fali (ν) pomnożonej przez pewną stałą wartość (h). Oddawana energia, którą mierzył, zawsze była wartością całkowitą, nie ułamkową. To ważne, ponieważ oznacza, że energia jest emitowana tylko w określonych porcjach. Nazwał je **kwantami** (z łaciny – 'ilość'). Pracę na ten temat opublikował w 1900 roku, wprowadzając fizykę w nowe stulecie. Od tamtej pory fizyka i nasze rozumienie świata się zmieniły. Na jego cześć stałą h nazwano **stałą Plancka**. Jego równanie okazało się równie ważne jak słynne $E = mc^2$ Einsteina.

Trochę trwało, zanim fizycy docenili znaczenie eksperymentów Plancka. Jednym z tych, którzy od razu zrozumieli jego wartość, był Einstein. Na początku XX wieku pracował w biurze patentowym w Zurychu, a w wolnym czasie zajmował się fizyką. W 1905 roku opublikował trzy prace, które go rozsławiły. Pierwsza, wyróżniona Nagrodą Nobla w 1921 roku, wznosiła dokonania Plancka na nowy poziom. Einstein głębiej przemyślał promieniowanie ciała doskonale czarnego i sięgnął po świeżą koncepcję kwantów. W błysko-

tliwie przeprowadzonych obliczeniach wykazał, że światło jest energią emitowaną w małych porcjach. Te porcje energii poruszały się niezależnie od siebie, choć razem tworzyły falę. Była to rewolucyjna koncepcja, ponieważ od czasów Thomasa Younga fizycy badali światło, zakładając, że jest ono ciągłą falą. Niewątpliwie na ogół zachowywało się jak fala, a tu nagle młody, nikomu nieznany urzędnik biura patentowego stwierdził, że może być strumieniem cząsteczek – **fotonów**, czyli kwantów światła.

Następna praca Einsteina z 1905 roku była równie innowacyjna. Przedstawił w niej szczególną teorię względności, zgodnie z którą wszelki ruch jest względny, czyli można go mierzyć tylko względem czegoś innego. To bardzo skomplikowana teoria, ale można ją wytłumaczyć w całkiem prosty sposób, o ile użyje się wyobraźni. (Einstein doskonale radził sobie z braniem pod rozwagę znanych danych i zastanawianiem się, co by było, gdyby...). Wyobraź sobie pociąg ruszający ze stacji. W jednym z wagonów wisi migająca żarówka wysyłająca sygnały świetlne do przodu i do tyłu dokładnie w tej samej chwili. Te sygnały odbijają się od luster zawieszonych na obu końcach wagonu. Gdybyśmy stali dokładnie pośrodku wagonu, zobaczylibyśmy, że światło odbija się od luster dokładnie w tej samej chwili. Jednak dla kogoś stojącego na peronie i patrzącego na mijający go wagon błyski następowałyby jeden po drugim. Światło dociera równocześnie do obu luster, ale pociąg jedzie, więc z peronu najpierw widać odbicie od dalszego lustra (z przodu wagonu), a potem od bliższego lustra (z tyłu wagonu). Prędkość światła pozostaje taka sama, ale to, kiedy widać odbicia, zależy od tego, czy obserwator stoi czy się porusza. Einstein argumentował (oczywiście za pomocą skomplikowanych równań), że czas jest fundamentalnym wymiarem rzeczywistości. Od tamtej pory fizycy musieli uwzględniać nie tylko trzy

dobrze znane wymiary – długość, szerokość i wysokość – ale też i czas.

Einstein pokazał, że prędkość światła jest stała, niezależnie od tego, czy oddala się ono od nas, czy też do nas zbliża. (Z prędkością dźwięku jest inaczej i dlatego, gdy pociąg się do nas zbliża, jego gwizdek brzmi inaczej niż wtedy, gdy się od nas oddala). Zatem względność w szczególnej teorii względności nie dotyczy prędkości światła, a polega na różnych spostrzeżeniach obserwatorów i fakcie, że trzeba uwzględnić czas. Czas przestał być wartością absolutną, a stał się względną. Szybciej płynie, gdy podróżujemy, co widać na rejestrujących go zegarach. Szeroko znana jest anegdota o astronaucie, który po podróżach w kosmosie, odbywających się niemal z prędkością światła, wrócił na Ziemię. Zobaczył, że na Ziemi upłynęło mnóstwo czasu. Wszyscy, których znał, zestarzeli się i zmarli, ale on sam nie jest dużo starszy niż przed wylotem. Dlaczego? Ponieważ jego zegar zwolnił. Astronauta nie wiedział, jak długo go nie było na Ziemi. (To jedynie eksperyment myślowy, a taka sytuacja może się zdarzyć jedynie w fantazji naukowej).

Jakby tego było mało, słynne równanie Einsteina $\mathbf{E = mc^2}$ powiązało masę (m) i energię (E) w nowy sposób. Stała **c** jest prędkością światła. Z tego równania wynika, że masa i energia są dwoma aspektami materii. Prędkość światła jest bardzo dużą liczbą, a po podniesieniu do kwadratu jeszcze większą, więc nawet bardzo mała masa, w całości zamieniona w energię, dałaby jej mnóstwo. Nawet w bombie atomowej tylko znikoma część masy jest przekształcana w energię. Gdyby masę twojego ciała w całości zamienić w energię, można byłoby uzyskać moc odpowiadającą czterdziestu albo pięćdziesięciu dużym bombom wodorowym!

Przez kilka następnych lat Einstein dopracowywał swoje koncepcje i w 1916 roku przedstawił bardziej uniwersalną

zasadę. Była to **ogólna teoria względności**. Wprowadzała zależność między grawitacją i przyspieszeniem a strukturą wszechświata. Einstein pokazał, że grawitacja i przyspieszenie są równoważne. Wyobraź sobie, że stoisz w windzie i wypuszczasz jabłko z dłoni. Upadnie ono na podłogę windy. Załóżmy teraz, że w chwili, gdy puszczasz jabłko, ktoś przecina liny, na których wisi winda. Winda zaczyna spadać razem z jabłkiem. W każdej chwili możesz po prostu sięgnąć i złapać jabłko. W spadającej windzie owoc nigdy nie dotknie podłogi. W kosmosie, gdzie nie ma grawitacji, dzieje się to samo. W zasadzie astronauci i ich statki kosmiczne cały czas swobodnie spadają.

Z ogólnej teorii względności wynika, że przestrzeń, a raczej czasoprzestrzeń, jest zakrzywiona. Na podstawie tej teorii dało się też ustalić kilka faktów, których fizycy od dawna nie mogli wyjaśnić. Przewiduje ona, że promień światła nieco się odchyla, mijając masywny obiekt. Dzieje się tak dlatego, że światło to strumień fotonów, a duży obiekt przyciąga je grawitacyjnie. Pomiary podczas zaćmienia Słońca pokazały, że takie zjawisko naprawdę zachodzi. Teoria Einsteina wyjaśniła również ciekawe cechy orbity Marsa okrążającego Słońce, czego nie dało się zrobić za pomocą prawa grawitacji Newtona.

Einstein zajmował się bardzo małymi (fotony światła) i bardzo dużymi (cały wszechświat) obiektami. Zaproponował nowy, interesujący sposób powiązania ich ze sobą. Wniósł wkład w mechanikę kwantową, a jednocześnie wprowadził własne teorie względności. Jego koncepcje i stojąca za nimi matematyka pomogły fizykom ustalić sposób myślenia o małych i dużych obiektach. Einstein nie pochwalał jednak wielu nowych kierunków badań, które obrali fizycy. Nigdy nie stracił wiary w to, że wszechświatem (z jego atomami, elektronami i innymi cząstkami) rządzą pra-

wa przyczynowości i skutku. Słynne jest jego stwierdzenie: „Bóg nie gra w kości”. Chodziło mu o to, że zdarzenia zawsze zachodzą w regularny, przewidywalny sposób. Nie wszyscy się z tym zgodzili. Niektórzy fizycy, wychodząc od koncepcji kwantów Plancka, doszli do całkiem innych wniosków.

Elektron był bardzo ważnym elementem wielu innych wczesnych prac z zakresu teorii kwantów. W rozdziale 30 omówiliśmy model skwantowanego atomu Nielsa Bohra z 1913 roku. W tym modelu elektrony krążą wokół centralnego jądra po ustalonych orbitach i mają określoną energię. Włożono wiele pracy, aby za pomocą matematyki opisać te relacje. Zwykła matematyka do tego nie wystarczyła. Aby rozwiązać problem, fizycy sięgnęli po macierze. W zwykłej algebrze 2 x 3 jest równe 3 x 2. W przypadku macierzy jest inaczej. W 1926 roku Erwin Schrödinger (1887–1961) zaproponował nowe równania oparte na macierzach. Jego równania falowe opisują zachowanie elektronów na zewnętrznych orbitach atomu. To był początek **mechaniki kwantowej**, która dla bardzo małych odległości była tym, czym fizyka newtonowska dla bardzo dużych. Schrödinger, tak jak wielu innych fizyków, którzy na początku XX wieku zmienili nasz sposób myślenia o świecie, musiał uciekać przed nazistami. Wojnę spędził w Dublinie. Einstein, jak wiemy, wyemigrował do Stanów Zjednoczonych.

Równania falowe Schrödingera wprowadziły pewien porządek w opisie wszechświata. Jednak w 1927 roku Werner Heisenberg (1901–1976) sformułował **zasadę nieoznaczoności**, która po części była zasadą filozoficzną i po części eksperymentalną. Heisenberg powiedział, że każdy akt obserwacji elektronów wpływa na te cząstki. To ogranicza nasze możliwości zdobycia wiedzy. Możemy znać albo pęd elektronu (iloczyn jego masy i prędkości), albo jego położe-

nie, ale nigdy obu wartości naraz. Pomiar jednej wartości powoduje zmianę drugiej. Einstein (i nie tylko) był przerażony tą ideą i postanowił obalić zasadę nieoznaczoności. Nie udało mu się i przyznał się do porażki. Do dziś ta zasada pozostaje w mocy. Po prostu istnieją granice naszej wiedzy o bardzo małych cząstkach.

Elektron był ważny także dla Paula Diraca (1902–1984). Ten wybitny badacz angielski został uznany niemal za drugiego Einsteina. Jego książka o mechanice kwantowej wyprzedziła swoje czasy o trzy dekady. Wydawało się, że jego równaniu kwantowej aktywności atomów i cząstek elementarnych brakuje nieco elegancji. Problem polegał na tym, że aby równanie mogło mieć sens, musiałaby istnieć dziwna cząstka – dodatnio naładowany elektron. To było równoznaczne ze stwierdzeniem, że oprócz materii istnieje antymateria. Koncepcja antymaterii wydawała się dziwaczna, ponieważ materia jest czymś solidnym. W ciągu kilku lat poszukiwania takiej cząstki zakończyły się sukcesem – odkryto **pozytron**. Ten bliźniak elektronu ma dodatni ładunek elektryczny. Na skutek oddziaływania elektronu z pozytronem dochodzi do emisji energii i obie cząstki znikają. W mgnieniu oka następuje anihilacja (unicestwienie) materii i antymaterii.

Odkrycie pozytronu wskazało fizykom, że atomy są zbudowane nie tylko z elektronów, protonów i neutronów. Niektóre z tych doniosłych odkryć omówimy w dalszej części tej książki. Doszło do nich, gdy fizycy nauczyli się osiągać ogromne energie w układach doświadczalnych, aby badać atomy i cząstki. „Badanie” nie jest tu całkiem odpowiednim słowem. Gdy fizycy pracują w zakresie wysokich energii, nie są w stanie bezpośrednio zobaczyć, co się dzieje w ich eksperymentach. Obserwują jedynie kropki na ekranach komputerów albo zmiany pola magnetycznego lub energii

w układzie doświadczalnym. Ale bomby atomowe, energia jądrowa i nawet możliwość obliczeń kwantowych świadczą o potędze i tajemnicy natury, nawet jeśli nie można tego zobaczyć.

Porcje energii Plancka, czyli kwanty, oraz stwierdzenie Einsteina, że masa i energia to dwie postacie tego samego, na zawsze zmieniły nasz sposób rozumienia świata. Masa i energia, fala i cząsteczka, czas i przestrzeń – natura odkrywa swe tajemnice tylko poprzez pary tych aspektów wszechświata, a nie przez jeden albo drugi. Ta wiedza pomogła nam wyjaśnić strukturę atomów i powstanie kosmosu, a na co dzień ułatwia nam powrót do domu nocą. Konstruktorzy satelitów krążących wysoko nad Ziemią wykorzystują szczególną teorię względności. Gdyby jej nie uwzględnili, szybko byśmy się zgubili.

ROZDZIAŁ 33

Wędrówka kontynentów

Trzęsienia ziemi są przerażające i niebezpieczne. Przerażają, ponieważ ziemia pod naszymi stopami nie powinna się poruszać. Są niebezpieczne, ponieważ powodują ofiary śmiertelne, ranią ludzi i wywołują masowe zniszczenia. Jednak większości tego, co się w trakcie nich dzieje, nie widzimy i nie czujemy. Zrozumienie struktury Ziemi – jak większość przedmiotów badań nauki – polegało na zmierzeniu tego, czego nie widać, i przekonaniu innych, że w tej kwestii ma się rację. Kontynenty i dna oceanów przemieszczają się.

Ten wycinek historii Ziemi, którego jesteśmy świadkami za naszego życia, to jedynie krótka chwila w skali całego procesu. Geolodzy posługują się technikami naukowymi, ale też korzystają ze swojej wyobraźni i nieszablonowego myślenia. Robią to wszyscy dobrzy naukowcy, nawet jeśli pracują w laboratorium, gdy konfrontują swoje idee ze zgromadzonymi faktami.

W XIX wieku geolodzy używali tradycyjnych narzędzi: szukali skamieniałości, badali i klasyfikowali skały, przyglądali się efektom trzęsień ziemi i wybuchom wulkanów. Wszystko to próbowali w jakiś rozsądny sposób wpleść w historię Ziemi. Większość ich odkryć do dziś jest aktualna. Zetknęli się jednak z szeregiem problemów, które nie dawały im spokoju, a których nie potrafili rozwiązać dopóty, dopóki nie wpadali na nowe, śmiałe idee. Dawni katastrofiści wierzyli w działanie różnego rodzaju sił, a nawet cudowne boskie interwencje, jak biblijny potop, z którego Noe ratował zwierzęta. Nowe podejście polegało na skoncentrowaniu uwagi na czasie – trwających miliony lat okresach, zwanych głęboką przeszłością. Jaka była Ziemia 200 milionów lat temu? A dwa lub trzy razy wcześniej?

Jak głęboka przeszłość mogłaby pomóc odpowiedzieć na trzy kluczowe pytania? Po pierwsze, dlaczego główne kontynenty wyglądają jak ogromne, pasujące do siebie kawałki układanki? Wschodnie wybrzeże Ameryki Południowej całkiem nieźle pasowałoby do zachodniego wybrzeża Afryki. Czy to przypadek?

Po drugie, dlaczego formacje skalne w Afryce Południowej są takie same jak w Brazylii, po drugiej stronie Atlantyku? Dlaczego tak nieduża wyspa jak Wielka Brytania jest tak bardzo zróżnicowana: wyżyny Szkocji, ze stromymi skałami i jeziorami, znacznie różnią się od łagodnie pofalowanej krainy Weald w południowo-wschodniej Anglii? Czy Wielka Brytania zawsze była oddzielona od kontynentu europejskiego? A Alaska od Azji?

Po trzecie, rozmieszczenie flory i fauny wykazuje dziwne prawidłowości. Dlaczego niektóre gatunki ślimaków występują w Europie i na wschodnim wybrzeżu Ameryki Północnej, ale nie ma ich na zachodzie tego kontynentu? Dlaczego australijskie torbacze tak bardzo różnią się od zwierząt z in-

nych stron świata? W połowie XIX wieku Darwin i Wallace jako pierwsi udzielili odpowiedzi na niektóre z tych pytań, a teoria ewolucji była w tym niezwykle pomocna. Darwin przeprowadził kilka bardzo „śmierdzących" eksperymentów – przez wiele miesięcy trzymał nasiona w kadziach z wodą morską. Chciał im stworzyć takie warunki jak podczas długiej podróży morskiej. Następnie je wysiał, aby sprawdzić, czy wykiełkują i wyrosną z nich rośliny. Niektóre wzeszły, co znaczyło, że mogły przepłynąć ocean i skolonizować nowe lądy. Znalazł również sposób na to, aby sprawdzić, czy ptaki mogą przenosić ziarna, owady i inne żywe stworzenia na bardzo duże odległości. Mogą. Ale to i tak nie wyjaśniało wszystkich zagadek.

Pojawił się jednak radykalny pomysł, który mógł pomóc w znalezieniu odpowiedzi na większość pytań. Nowa teoria zakładała, że kontynenty nie zawsze znajdowały się tam, gdzie dziś, albo że niegdyś łączyły je pasy lądu, tak zwane **pomosty lądowe**. Pod koniec XIX wieku wielu geologów sądziło, że pomosty lądowe istniały w kilku miejscach. Mieli oni solidne dowody na to, że Wielka Brytania była kiedyś połączona z Europą. To tłumaczyło, dlaczego na Wyspach Brytyjskich znajdowano skamieniałe kości niedźwiedzi, hien i innych zwierząt niewystępujących tam w czasach współczesnych. Ameryka Północna była kiedyś połączona z Azją przez Cieśninę Beringa i niewątpliwie przeszli tamtędy rdzenni Amerykanie oraz zwierzęta. Pomosty lądowe między Afryką a Ameryką Południową wydawały się mniej prawdopodobne, ale wybitny austriacki geolog Eduard Suess (1831–1614) optował za nimi w pięciotomowym dziele *Das Antlitz der Erde* (*Oblicze Ziemi*) wydanym w latach 1883–1909. Uznał, że ich istnienie było możliwe z powodu ciągłego wznoszenia się i opadania powierzchni ziemi w ciągu jej historii geologicznej. To, co za jego czasów było

dnem morza, dawnej miało łączyć oba kontynenty. Nie wszyscy byli przekonani do jego pomysłów, choć w dziele starał się je dokładnie wytłumaczyć.

Geologią i klimatem Ziemi był także zainteresowany Alfred Wegener (1880–1930). W 1912 roku wygłosił wykład o wędrówce (dryfcie) kontynentów. Trzy lata później opublikował książkę, w której wyjaśnił swoją teorię. Resztę życia poświęcił szukaniu dowodów potwierdzających dryft. Zginął podczas ekspedycji na Grenlandię, gdzie szukał kolejnych świadectw. Według niego około 200 milionów lat temu na Ziemi był tylko jeden duży, otoczony oceanem kontynent – **Pangea**. Stopniowo rozpadał się na części, które pływały po oceanie niczym góry lodowe oderwane od czapy lodowej i unoszące się na morzu. Części Pangei nie roztopiły się jak lód i utworzyły kontynenty. Nie był to jednak koniec. Wegener uważał, że masy lądu wciąż się przemieszczają z prędkością około 10 metrów rocznie. Jego szacunki były mocno zawyżone. Dzisiejsze pomiary wskazują, że jest to zaledwie kilka milimetrów rocznie. Jaka by to nie była wartość, to w długim okresie i tak rezultat będzie niebagatelny.

Wegener miał kilku zwolenników, głównie w rodzinnych Niemczech. Jednak większość geologów uznała jego pomysły za zbyt naciągane – niemal za fantastykę naukową. Podczas drugiej wojny światowej zaczęto prowadzić badania dna oceanicznego z okrętów podwodnych. Po wojnie ujawniono, jak wygląda podwodny krajobraz z ogromnymi grzbietami i dolinami oraz wygasłymi i czynnymi wulkanami. Harry Hess (1906–1969), geolog pracujący dla amerykańskiej marynarki wojennej, prześledził przebieg tych grzbietów i dolin pod wodą i na lepiej znanym suchym lądzie. Wyznaczył też linie uskoków, czyli miejsca na lądzie i pod wodą, gdzie jest najwięcej trzęsień ziemi i wulkanów. Odkrył, że masy lądu i dno oceaniczne zachowują pewną

ciągłość i zderzają się ze sobą. Lądy nie unosiły się na wodzie, tak jak myślał Wegener. Jak zatem kontynenty mogły się przemieszczać?

Do Hessa dołączyli fizycy, meteorologowie (obserwatorzy pogody), oceanografowie (badacze oceanów), sejsmologowie (specjaliści od trzęsień ziemi) i jego koledzy po fachu. Wszyscy próbowali rozwikłać zagadki historii Ziemi, posługując się narzędziami specyficznymi dla swoich dziedzin nauki. Nie było to łatwe. Po zejściu pod powierzchnię Ziemi szybko robi się bardzo gorąco i przyrządy badawcze roztapiają się. Dlatego znaczną część naszej wiedzy o składzie i strukturze wnętrza Ziemi zdobyto metodami pośrednimi. W nauce często tak bywa.

Wyrzucanie roztopionej lawy z wulkanów przez długi czas traktowano jako pozbywanie się przez Ziemię nadmiaru ciepła zgromadzonego pod powierzchnią. W pewnym sensie jest to prawda, ale niepełna i niewyjaśniająca problemu do końca. Po odkryciu pierwiastków promieniotwórczych, takich jak uran, które podczas rozpadu uwalniają mnóstwo energii, uznano je za kolejne źródło wewnętrznego ciepła planety. Jednak radioaktywność jest stałym źródłem ciepła, a zatem stara koncepcja Ziemi jako niegdyś bardzo gorącej kuli, która stopniowo stygnie, okazała się zbyt uproszczona.

Angielski geolog Arthur Holmes (1890–1965), który ten pogląd podważał, twierdził, że Ziemia pozbywa się nadmiaru ciepła w dobrze znanym procesie przekazywania ciepła – konwekcji. Według niego ważne było to, że konwekcja nie zachodzi w górnej warstwie – skorupie ziemskiej – na której żyjemy, ale głębiej. Warstwa, w której się to odbywa, to **płaszcz ziemski**. Holmes był przekonany, że roztopione skały stopniowo unoszą się z płaszcza ziemskiego ku górze jak gorąca woda w kąpieli. Gdy oddalą się od bardziej gorącego obszaru, zaczynają stygnąć, więc znowu opadają, a ich

miejsce zajmują inne roztopione skały. Ten cykl trwa bez końca. Część wznoszących się, roztopionych skał wyrzucają wulkany. Jednak większość skał nigdy nie dociera do powierzchni, ale rozpływa się, stygnie, a następnie opada. Ich przemieszczanie się powoduje dryft kontynentów milimetr po milimetrze.

W miarę postępu badań w głębiach oceanów i pod ziemią, stosując metodę oceny wieku skał, stwierdzono, jak bardzo głęboką przeszłość ma nasza planeta. Technikę datowania radiometrycznego zawdzięczamy fizykom, którzy odkryli promieniotwórczość (rozdział 31). Za jej pomocą naukowcy mogli datować skały, porównując ilość pierwiastka promieniotwórczego z ilością jego produktów rozpadu (na przykład uranu z ołowiem) w próbkach skał. Stosując tę technikę, można ustalić, ile lat mają skały, ponieważ od chwili ich uformowania nie był do nich dodawany żaden nowy materiał. Znajomość wieku poszczególnych warstw skalnych pozwoliła z kolei zrozumieć, ile lat może mieć cała Ziemia. Znaleziono skały datowane na ponad 4 miliardy lat. Te na dnie oceanów są zawsze nowsze. Oceany nie istnieją tak długo jak kontynenty – umierają i rodzą się na nowo. Oczywiście zajmuje to bardzo dużo czasu, więc nie martw się o następne wakacje nad morzem. (Z drugiej strony wywołane przez człowieka globalne ocieplenie może doprowadzić do dalszego topienia się pokrywy lodowej na biegunach i niebezpiecznego podniesienia się poziomu morza w najbliższych dekadach).

Skały w fazie formowania się nie tylko wchłaniają pierwiastki radioaktywne, ale zachowują orientację magnetyczną w żelazie i innych materiałach magnetycznych. Magnetyzm, podobnie jak promieniotwórczość, pomógł geologom ustalić wiek skał. Pole magnetyczne Ziemi było stałe w długich okresach jej istnienia. Niekiedy północny i południowy

biegun przesuwały się, więc orientacja północ–południe również wskazuje na czas powstania skały. Kompas pokaże północ za życia naszego i naszych wnuków, ale nie zawsze tak było i nie zawsze tak będzie w odległej przyszłości, jeśli możemy cokolwiek wnioskować na podstawie minionych wieków.

Magnetyzm, konwekcja, podwodne krajobrazy i datowanie radiometryczne dostarczyły cennych wskazówek o warunkach panujących dawniej na Ziemi. Łącznie wystarczyły one do tego, by przekonać naukowców, że Wegener miał w zasadzie rację. Nie mylił się w kwestii przesuwania się kontynentów, co potwierdziły precyzyjne pomiary dokonane przez satelity. Ale jego teorie na temat dryftu i unoszenia się kontynentów na wodzie są błędne. John Wilson (1908–1993) i inni dokończyli śmiały tok myślenia Wegenera i ogłosili, że górna warstwa płaszcza ziemskiego zbudowana jest z szeregu gigantycznych płyt tektonicznych. Te płyty pasują do siebie i pokrywają całą powierzchnię planety, a ich granice przebiegają w poprzek mórz i lądów. Dopasowanie nie jest idealne, a w miejscach styku płyt występują linie uskoku. Naukę o tym, co się dzieje, gdy płyty tektoniczne się ścierają, zachodzą na siebie lub zderzają się, nazywamy **tektoniką płyt**. Pomyśl o Mount Evereście w Himalajach. Jest najwyższą górą na Ziemi, ponieważ Himalaje powstały w wyniku zderzenia się dwóch płyt tektonicznych, które rozpoczęło się około 70 milionów lat temu. Nie przyznaje się Nagrody Nobla w dziedzinie geologii, a być może należałoby. Tektonika płyt dostarczyła nam wielu informacji o trzęsieniach ziemi i tsunami, górach i skałach, skamielinach oraz żyjących roślinach i zwierzętach. Ziemia jest bardzo stara, ale to wyjątkowe miejsce w kosmosie.

ROZDZIAŁ 34

Co dziedziczymy?

Kogo bardziej przypominasz – mamę czy tatę? A może dziadka lub ciocię? Czy ktoś z twojej rodziny biega równie szybko jak ty albo dobrze gra na gitarze lub skrzypcach? Po kimś, kto jest biologicznie z tobą spokrewniony, możesz odziedziczyć pewne cechy lub talent. Powinowaci, tacy jak macocha lub ojczym, mogą zrobić dla ciebie coś wspaniałego, ale nie odziedziczysz po nich żadnego z genów.

Wiemy, że cechy takie jak kolor oczu i włosów zależą od genów, które są przekazywane z pokolenia na pokolenie. Genetyka to nauka o genach, w których zawarte są informacje dotyczące dziedziczenia cech. Geny w dużym stopniu decydują o tym, jacy jesteśmy. Czy ludzie zdają sobie sprawę z ich znaczenia?

Wróćmy na chwilę do Karola Darwina (rozdział 25). Dziedziczenie było głównym tematem jego pracy. Odgrywało kluczową rolę w teorii ewolucji gatunków, mimo że Darwin nie wiedział, jak dokładnie się odbywa. Biolodzy jeszcze długo debatowali o wrodzonych cechach przekazywanych

z pokolenia na pokolenie po publikacji darwinowskiego dzieła *O powstawaniu gatunków* w 1859 roku. W szczególności interesowało ich, czy czasem może dojść do „miękkiego” dziedziczenia. Miękkie dziedziczenie to koncepcja wysunięta przez francuskiego przyrodnika Jeana-Baptiste’a de Lamarcka (1744–1829), który również wierzył w rozwój gatunków drogą ewolucyjnych zmian. Pomyśl o długiej szyi żyrafy. W jaki sposób wyewoluowała? Lamarck twierdził, że żyrafa nieustannie wyciąga szyję w górę, aby sięgnąć po liście na najwyższych drzewach, więc niewielkie zmiany w długości szyi były przekazywane kolejnym pokoleniom tego gatunku. Z czasem przestały się rodzić zwierzęta o krótkich szyjach. Środowisko wpływa na organizmy, kształtując je lub przystosowując, a pojawiające się w ten sposób zmiany są przekazywane z pokolenia na pokolenie.

Eksperymentalne wykazanie takiego miękkiego dziedziczenia okazało się bardzo trudne. Kuzyn Darwina, Francis Galton (1822–1911), przeprowadził serię starannie zaplanowanych eksperymentów, w których białym królikom wstrzykiwał krew czarnych osobników. Nie miało to żadnego wpływu na potomstwo królików, które przeszły transfuzję. Przez kilka pokoleń odcinał szczurom ogony, ale nie stworzył rasy szczurów bez ogonów. Zabieg obrzezywania męskich niemowląt nie miał żadnego wpływu na następne pokolenia chłopców.

Argumenty za i przeciw miękkiemu dziedziczeniu wysuwano aż do przełomu XIX i XX wieku. Wówczas to dwa fakty przekonały biologów, że cechy roślin i zwierząt, nabyte podczas ich życia, nie są przekazywane potomstwu. Po pierwsze, na nowo odkryto prace zakonnika Gregora Mendla (1822–1884) z Moraw (obecnie Czechy, wówczas Austro-Węgry). W latach sześćdziesiątych XIX wieku Mendel opublikował (w mało poczytnym czasopiśmie) wyniki swoich

badań przeprowadzonych w klasztornym ogrodzie. Dużo wcześniej, zanim Galton zaczął odcinać szczurom ogony, Mendla zafascynował groch zwyczajny. Naukowiec zastanawiał się, co się stanie, jeśli skrzyżuje odmiany tej rośliny o pewnych cechach (rośliny o różnokolorowych kwiatach uprawiano razem). Groch doskonale nadawał się do eksperymentów, ponieważ rośnie szybko, więc w krótkim czasie można było wyhodować następne pokolenia. Poza tym strączki grochu miały wyraźne cechy – żółte lub zielone nasiona, z gładką lub pomarszczoną skórką. Mendel odkrył, że te cechy są dziedziczone z matematyczną precyzją, ale w sposób, który łatwo przeoczyć. Gdy skrzyżujemy roślinę o zielonych nasionach z rośliną o żółtych, całe pierwsze pokolenie będzie miało żółte nasiona. Ale jeśli przeprowadzi się krzyżówkę między osobnikami tego pierwszego pokolenia, to w drugim trzy czwarte roślin będzie miało żółte nasiona, a jedna czwarta – zielone. Kolor żółty był **cechą dominującą** w pierwszym pokoleniu, ale już w drugim ujawniała się **cecha recesywna** (kolor zielony). Co oznaczał tak sztywno określony wzór dziedziczenia? Mendel doszedł do wniosku, że rośliny i zwierzęta dziedziczą cechy w oddzielnych jednostkach dziedziczenia. Proces dziedziczenia był dość ściśle określony, co wykluczało stopniowe zmiany w ramach miękkiego dziedziczenia czy uśredniania cech rodziców. Groch mógł być albo żółty, albo zielony – nie było pośrednich odcieni.

Prace Mendla przeszły niezauważone, tym bardziej, że zakonnik skupił się głównie na swoim życiu religijnym. Ale August Weismann (1834–1914), zdeterminowany naukowiec, przypuścił drugi atak na miękkie dziedziczenie. Ten wybitny niemiecki biolog głęboko wierzył, że poglądy ewolucyjne Darwina były poprawne. Dostrzegł jednak, że brakuje w nich dobrego wytłumaczenia mechanizmów dziedzi-

czenia. Rozwiązanie znalazł w fascynujących go komórkach i ich podziałach.

Zanim Mendel przeprowadził swoje doświadczenia na roślinach, kilka lat wcześniej Rudolf Virchow ogłosił teorię o podziale komórek (rozdział 26). W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych XIX wieku Weismann zauważył, że aby powstała komórka jajowa albo plemnik, komórki **macierzyste** organizmu uczestniczącego w reprodukcji dzieliły się w inny sposób niż pozostałe. Ta różnica była kluczem do poznania tajemnicy. Dziś taki proces podziału komórki nosi nazwę **mejozy**. **Chromosomy** (struktury będące nośnikiem materiału genetycznego) dzielą się i połowa z nich trafia do każdej z komórek **potomnych**. W pozostałych komórkach organizmu komórki potomne mają tyle samo chromosomów co macierzyste. (Komórki macierzyste to dowolne komórki, które dzielą się na dwie potomne. Występują w całym organizmie i nie mają nic wspólnego z matkami i potomstwem). Gdy komórka jajowa łączy się z plemnikiem, dwie połowy kompletu chromosomów łączą się w jeden. Zapłodnione jajo ma więc znów tyle chromosomów, co trzeba. Komórki rozrodcze są inne niż pozostałe komórki organizmu. Weismann argumentował, że nie ma znaczenia, co dzieje się z komórkami mięśni, kości, krwi czy nerwów. Organizm potomny dziedziczy tylko to, co zawierają komórki rozrodcze. W przypadku żyrafy ewentualne rozciąganie szyi nie będzie miało żadnego wpływu na komórki jajowe i plemniki, które zawierają to, co Weismann nazwał plazmą zarodkową. W chromosomach komórki jajowej i plemników była przekazywana plazma zarodkowa, a samo dziedziczenie nazwał ciągłością plazmy zarodkowej.

W 1900 roku aż trzech uczonych sięgnęło po zakurzone egzemplarze czasopisma, w którym ukazał się artykuł Mendla. Powiadomili społeczność naukową o wynikach ekspery-

mentów Mendla przeprowadzonych na grochu. Biolodzy zdali sobie sprawę z tego, że zakonnik dostarczył najlepszych możliwych dowodów eksperymentalnych na ciągłość plazmy zarodkowej Weismanna i że prawa Mendla, jak wkrótce je nazwano, mają solidne podstawy naukowe.

Naukowcy podzielili się na dwie grupy – zwolenników Mendla i biometrii. Biometrycy, pod wodzą eksperta od statystyki Karla Pearsona (1857–1936), wierzyli w ciągłość dziedziczenia. Uważali, że dziedziczymy średnią cech (mieszankę) naszych rodziców. Przeprowadzili poważne badania terenowe, mierząc drobne różnice wśród ślimaków i zwierząt morskich. Wykazali, że takie detale mogą decydować o tym, jak wiele potomstwa przeżyje (nazywamy to sukcesem reprodukcyjnym gatunku). Drugiej grupie przewodził William Bateson (1861–1926), biolog z Cambridge, który wymyślił termin **genetyka**. Zwolennicy Mendla podkreślali dziedziczenie dyskretnych (oddzielnych) cech, proces, który wykazały obserwacje zakonnika. Twierdzili, że zmiany biologiczne zachodzą skokowo, a nie powoli, w sposób ciągły, jak chcieli biometrycy. Obie grupy zgodziły się z istnieniem ewolucji, a spierały się jedynie o to, w jaki sposób się ona odbywa.

Spory trwały prawie przed dwa dziesięciolecia. W latach dwudziestych XX wieku kilku badaczy dowiodło, że obie grupy jednocześnie miały rację i zarazem się myliły. Po prostu patrzyły inaczej na różne aspekty tego samego problemu. Dziedziczenie wielu cech biologicznych odbywa się w sposób biometryczny (jako mieszanka cech). Wysoki ojciec i niska matka będą mieć potomstwo średnio wysokie, czyli mające „mieszankę” wysokości rodziców. Niektóre dzieci będą dorównywać wzrostem ojcu (albo nawet będą wyższe od niego), ale już przeciętny wzrost ich potomstwa będzie mniej więcej w połowie między wysokościami rodzi-

ców. Inne cechy, takie jak kolor ludzkich oczu (jak kolor grochu), są dziedziczone na zasadzie albo – albo, a nie jako mieszanka. Spór między zwolennikami praw Mendla i biometrii został rozstrzygnięty, kiedy kolejni biolodzy przeprowadzili pomiary całych populacji, a następnie zastosowali rozumowanie matematyczne. Do tych biologów zaliczał się między innymi John B. S. Haldane (1892–1964). Docenił on błyskotliwość oryginalnych poglądów Darwina. Uświadomił sobie, że w każdej populacji występują pewne mutacje, które mogą być dziedziczone. Jeśli dają przewagę, to rośliny i zwierzęta, które je posiadają, przetrwają, a inne mutacje wyginą wraz z ich nosicielami.

Bardzo ważny jest również fakt, w jaki sposób dziedziczymy to, co później robimy. Był to następny element genetycznej układanki. Większość prekursorskich prac w tym zakresie została przeprowadzona w laboratorium przez Thomasa Hunta Morgana (1866–1945) na Uniwersytecie Columbia w Nowym Jorku. Morgan zaczął karierę od obserwacji, jak zaczyna się życie zwierząt i jak rozwijają się embriony. Nigdy nie stracił zainteresowania embriologią, ale na początku XX wieku jego uwagę przykuła nowa dziedzina nauki – genetyka. Laboratorium Morgana nie było zwykłym miejscem. Przylgnęło do niego określenie „sala much”, ponieważ stało się domem tysięcy pokoleń muszek owocowych (*Drosophila melanogaster*). Były one dobrymi kandydatkami do badań, ponieważ w jądrze komórkowym mają tylko cztery chromosomy, a właśnie ich rolę chciał zrozumieć Morgan. Postawił pytanie: na ile ważne są chromosomy w przekazywaniu dziedziczonych cech? Chromosomy muszek owocowych są duże, a przez to łatwo je oglądać pod mikroskopem. Poza tym te owady bardzo szybko się rozmnażają (zostaw na wierzchu talerz z owocami i obserwuj, co się wydarzy). Dzięki temu w krótkim czasie można przebadać wiele poko-

leń muszek, aby zobaczyć, co się stanie, gdy muszki o określonych cechach skrzyżują się z innymi. Wyobraź sobie tego rodzaju pracę doświadczalną na słoniach, a zrozumiesz, czemu wybrano muszki owocowe.

Pokój much Morgana stał się sławny i przyciągał zarówno studentów, jak i naukowców. Amerykański uczony był pionierem współczesnych sposobów prowadzenia badań: grupa młodych naukowców pracowała pod kierunkiem szefa – Morgana, który pomagał zdefiniować problemy i nadzorował wykonywanie przez nich eksperymentów. Zachęcał wszystkich, aby rozmawiali i razem pracowali, więc trudno było potem ustalić, kto i co dokładnie zrobił. (Gdy Morgan dostał Nagrodę Nobla, podzielił się pieniędzmi z młodszymi kolegami).

Morgan dokonał przełomowego odkrycia niemal przypadkiem. Zauważył, że jedna muszka z ostatniego lęgu miała czerwone oczy, a nie białe jak pozostałe. Oddzielił ten wyjątkowy okaz od pozostałych, zanim skrzyżował go z muszkami o typowych, białych oczach. Gdy patrzył na jej potomstwo, odkrył, że wszystkie czerwonookie muszki są samicami. To pozwoliło mu założyć, że gen odpowiedzialny za kolor oczu był przenoszony na chromosomie płci, czyli decydującym o tym, czy potomek będzie samcem czy samicą. Po drugie, dziedziczenie koloru oczu odbywało się według tych samych praw co w przypadku grochu Mendla. To znaczy, że oczy zawsze były białe albo czerwone, ale nigdy w odcieniu różu. Morgan przyjrzał się innym dziedziczonym cechom muszek, takim jak wielkość i kształt skrzydeł. Wraz z kolegami zbadał chromosomy pod mikroskopem i zaczął tworzyć „mapę” każdego chromosomu, pokazującą, gdzie są zlokalizowane jednostki dziedziczenia (czyli geny, jak je nazwano). Mutacje (zmiany), takie jak nagłe pojawienie się czerwonych oczu, pomogły ustalić położenie poszczegól-

nych genów, gdyż starannie analizowano, co robią chromosomy podczas podziału komórkowego. Jeden ze studentów Morgana, Hermann Joseph Muller (1890–1967), odkrył, że promieniowanie rentgenowskie przyspiesza mutacje. W 1948 roku został za to wyróżniony Nagrodą Nobla, a jego odkrycie ostrzegło świat przed niebezpieczeństwem, jakie niosą bomby atomowe, a także wykonywanie zdjęć rentgenowskich w celach medycznych. Morgan pokazał również, że chromosomy wymieniają się materiałem genetycznym podczas podziałów. Ten proces nosi nazwę **crossing-over** i jest kolejnym dowodem na to, jak natura sama wpływa na zmienność roślin i zwierząt.

Morgan i jego współpracownicy, a także wielu innych badaczy na całym świecie, sprawili, że genetyka stała się jedną z najbardziej fascynujących dziedzin nauki, która zajmowała wielu uczonych szczególnie w latach 1910–1940. Gen coraz powszechniej uznawano za ważny materiał. Umieszczone w chromosomach komórek jednostki dziedziczenia są przekazywane potomstwu przez żeńską komórkę jajową i plemnik, a każde z rodziców ma jednakowy wkład w powstanie przyszłego pokolenia. Mutacje okazały się jednym z mechanizmów ewolucyjnych zmian. Powodują pojawienie się różnic. Występują naturalnie, ale można je też wywołać sztucznymi metodami, które badał Muller. Nowa genetyka stała się podstawą ewolucyjnego myślenia, mimo że nie było do końca wiadomo, czym jest gen. Jego istnienie nie budziło jednak żadnych wątpliwości.

Nowe podejście do genetyki miało też ciemne strony i skutki społeczne. Skoro nie istniało miękkie dziedziczenie, to lepsze odżywianie się, uprawianie sportów czy bycie dobrym człowiekiem nie mogło zmienić genów dzieci. Należałoby zastosować inne metody, aby ulepszyć następne pokolenia. Sztuczną selekcję Darwina od stuleci praktykowali

hodowcy zwierząt gospodarskich i roślin, którzy starali się uzyskać pożądane cechy w hodowli. Krowy miały dawać więcej mleka, a pomidory być bardziej soczyste. W 1904 roku Francis Galton (kuzyn Darwina) założył laboratorium eugeniczne. Wymyślił termin „eugenika”, oznaczający ‘dobrze urodzony’. Próbował zmienić zwyczaje reprodukcyjne ludzi. Skoro można pokazać, że w niektórych rodzinach dominuje inteligencja, kreatywność, skłonności przestępcze, chorowitość czy lenistwo (a Galton w to wierzył), sensowne byłoby zachęcanie ludzi o dobrych cechach do posiadania większej liczby dzieci (eugenika pozytywna) oraz zapobieganie rozmnażaniu się złych (eugenika negatywna). W Wielkiej Brytanii oczywiście zdobyła popularność eugenika pozytywna. W kampaniach społecznych zachęcano małżeństwa z wykształconej klasy średniej, aby miały więcej dzieci, gdyż zakładano, że te pary są w jakiś sposób lepsze niż przeciętni robotnicy i ich żony. W ostatnim dziesięcioleciu XIX wieku rząd był zaniepokojony fatalną kondycją rekrutów wysyłanych na wojny burskie w południowej Afryce. Znaczną część ochotników odrzucono jako fizycznie niezdolnych do pełnienia służby wojskowej, a nawet do noszenia karabinu. Podczas pierwszej wojny światowej (1914–1918) doszło do masowych rzezi na polach bitew w Europie. Wiele osób sądziło, że zginęli najlepsi. Każda nacja świata zachodniego obawiała się o jakość i siłę swojej populacji.

Eugenika negatywna miała dużo mroczniejsze oblicze. Wielu jej zwolenników uważało, że należy izolować osoby o zaburzeniach psychicznych, kryminalistów, a nawet inwalidów i osoby z marginesu społecznego. W USA w niektórych stanach wprowadzono przepisy wymuszające sterylizację, aby tacy ludzie nie mieli dzieci. Naziści w Niemczech, od lat trzydziestych XX wieku aż do zakończenia drugiej

wojny światowej w 1945 roku, dopuścili się najgorszych okrucieństw. W imieniu państwa najpierw więzili, a następnie mordowali miliony ludzi, którzy ich zdaniem stanowili zagrożenie dla aryjskiej, czystej rasy. Żydzi, Cyganie, homoseksualiści, niedorozwinięci umysłowo, niezrównoważeni psychicznie i kryminaliści byli aresztowani i później albo wysyłani do obozów koncentracyjnych, gdzie czekała na nich najczęściej śmierć, albo po prostu zabijani.

W okresie nazistowskim słowo „eugenika” nabrało pejoratywnego wydźwięku. Jak później się dowiesz, niektórzy ludzie wierzyli, że tylnymi drzwiami mógłby nastąpić powrót do eugeniki, gdy naukowcy uzyskiwali coraz szerszą wiedzę o dziedziczeniu i jego wpływie na to, jacy jesteśmy. Wszyscy potrzebujemy nauki, ale musimy się upewnić, czy będzie wykorzystywana w dobrym, a nie złym celu.

ROZDZIAŁ 35

Skąd pochodzimy?

Obecnie wiadomo, że 94% naszego genomu jest identyczne jak u naszych najbliższych krewnych spośród zwierząt, czyli szympansów. To bardzo duże podobieństwo, ale między ludźmi a szympansami są też zauważalne gołym okiem istotne różnice. Ludzie posługują się mową, komunikują się werbalnie, co ich odróżnia od innych stworzeń. Potrafią czytać i pisać. Tych umiejętności nie posiadają żadne małpy. Ludzie i szympansy, wraz z gorylami i orangutanami, należą do rodziny człowiekowatych (*Hominidae*), inaczej hominidów. Jesteśmy mniej podobni do goryli czy orangutanów, ale w którymś momencie przeszłości te cztery gatunki miały wspólnego przodka, od którego wyewoluowały. Było to w zamierzchłych czasach, może nawet 15 milionów lat temu.

Nasi człowiekowaci „kuzyni” fascynują, a zarazem budzą w nas lekki niepokój. Odczuwali to także ci, którzy ich badali i pisali o nich w przeszłości. Zastanawiali się, gdzie w akcie stworzenia jest miejsce na te dzikie zwierzęta, tak

do nas podobne i zarazem tak od nas różne. W 1699 roku angielski anatom Edward Tyson (1651–1708) dostał zwłoki szympansa. Przeprowadził sekcję tej egzotycznej małpy i to, co zaobserwował, porównał z aktualną wiedzą o anatomii człowieka. Był pierwszym naukowcem, który tak uważnie przyjrzał się budowie szympansa. Tyson umieścił go w wielkim łańcuchu istot Arystotelesa tuż poniżej ludzi. Uważał za naturalne to, że niektóre gatunki wypełniają lukę między nami a resztą królestwa zwierząt. Nie powiedział tego wprost, ale zasugerował potrzebę istnienia brakującego ogniwa w tym łańcuchu, które łączyłoby ludzi z innymi zwierzętami.

W Wielkiej Brytanii, Niemczech i Francji znajdowano coraz więcej wytworów, takich jak krzemienne groty strzał i obuchy toporów. Stanowiły one dowody obecności ludzi na tych ziemiach już przed tysiącami lat. Te narzędzia często odkrywano w jaskiniach i pośród skamieniałych szczątków wymarłych gatunków zwierząt, takich jak budzące grozę tygrysy szablozębne i ogromne, włochate mamuty. Ludzie epoki kamiennej, którzy zrobili te proste narzędzia, niewątpliwie żyli w tym samym czasie co wymarłe zwierzęta. Zatem człowiek istniał na Ziemi od dziesiątek tysięcy lat, a nie krócej, jak dotąd sądzono. Nie wszyscy zgodzili się z tym wnioskiem, ale przyjaciel Darwina, Thomas Henry Huxley (1825–1895), nie miał wątpliwości. Huxley był podekscytowany odkryciem w 1856 roku człowieka neandertalskiego w jaskini w dolinie Neandertal w Niemczech. W książce *Evidence as to Man's Place in Nature* (*Stanowisko człowieka w przyrodzie*) z 1863 roku napisał o tej skamielinie, współczesnych ludziach i człowiekowatych. Dziś wiemy, że były to pierwsze znalezione szczątki osobnika z podplemienia *Hominina*, nienależącego do gatunku *Homo sapiens*, jak nazwał go Linneusz (rozdział 19). Podplemię *Hominina*

obejmuje ludzi i naszych wymarłych przodków. W miarę znajdowania kolejnych skamieniałości grupa człowiekowatych się powiększała. Drzewo życia rozrastało się i stopniowo je uzupełniano.

Huxley był na tyle ostrożnym naukowcem, że wiedział, iż jedno znalezisko nie powie nam wszystkiego o całym gatunku i dlatego przypisał neandertalczyka do gatunku ludzkiego. Był jednak przekonany, że należy on do bardzo starego gatunku, który żył na Ziemi dostatecznie długo, aby ulec ewolucji. Z pewnością zaszły w nim zmiany, gdyż neandertalczyk był dość podobny do nas, ale jednak się od nas różnił. Jego czaszka miała silnie rozwinięte łuki nadoczodołowe i duże wgłębienie na nos. Proporcje kończyn i tułowia były inne niż u nas. Uczeni brali pod uwagę możliwość, że wcale nie należał do innego gatunku, tylko szkielet uległ deformacji. Później dowiedzieli się, że neandertalczycy jako pierwsi z podplemienia *Hominina* grzebali swoich zmarłych.

Huxley znał teorie Darwina o ewolucji ludzi, zanim ten opublikował dwa dzieła przedstawiające swoje koncepcje i dowody na nasze pochodzenie. W 1871 roku Darwin w książce *O pochodzeniu człowieka* podał fakty o ludzkiej rasie, które wcześniej pominął w *O powstawaniu gatunków*. W 1872 roku w dziele *O wyrażaniu emocji u człowieka i zwierząt* uzupełnił swoją argumentację o ważny rys psychologiczny. Dla potrzeb swoich teorii wykorzystał między innymi wiedzę o uśmiechach i grymasach zaobserwowanych u własnych dzieci. Ludzie są częścią życia na Ziemi, tak jak inne gatunki flory i fauny. Darwin przypuszczał, że nasi przodkowie zapewne żyli w Afryce, gdzie wyewoluował gatunek ludzki.

Z darwinowskiego przedstawienia ewolucji w postaci drzewa życia wynikało, że nie możemy pochodzić od współczesnych małp. Uwagę opinii publicznej natychmiast zwróciło

połączenie małpa – człowiek. Koncepcje ewolucji Darwina przedyskutowano najpierw podczas publicznej debaty oksfordzkiej na tłumnym posiedzeniu Brytyjskiego Stowarzyszenia Popierania Nauk. Zadaniem Stowarzyszenia było przybliżanie wszystkim najnowszych odkryć naukowych. Co roku organizowano posiedzenie, na którym uczeni debatowali o nowinach w nauce. Spotkaniu w 1860 roku towarzyszyło wiele emocji, tak sensacyjny był pomysł pochodzenia człowieka od małpy. Z napięciem wyczekiwano dyskusji antydarwinistów, na czele z biskupem Samuelem Wilberforcem, ze zwolennikami Darwina pod wodzą Huxleya. Biskup Wilberforce, sądząc, że jest sprytny, zapytał Huxleya, czy pochodzi od małpy ze strony dziadka czy babki. Huxley odpowiedział, że woli pochodzić od małpy, niż tracić czas i wysiłek umysłowy na takie głupie pytanie, i że biskup nie rozumie istoty sprawy. Tego dnia górą był Huxley i zwolennicy ewolucji, choć nie przekonali sceptycznie nastawionego biskupa.

Odkrycie, że ludzkość istnieje na Ziemi od dawna, zachęciło przyrodników, antropologów (którzy zajmują się wiedzą o człowieku) i archeologów do postawienia pytania: jakie były pierwotne warunki życia ludzi? W tym czasie w grotach na terenie Europy odnaleziono ślady życia tzw. **człowieka jaskiniowego**. Mieszkańcy jaskiń używali ognia. Znaleziono należące do nich broń, kamienne narzędzia i przybory do gotowania. Antropolodzy i badacze odkryli również grupy zbieracko-myśliwskie w Afryce, Azji i Ameryce Południowej i doszli do wniosku, że wszystkie ludzkie społeczności przechodziły przez podobne etapy rozwoju społecznego. Edward Burnett Tylor (1832–1917) został pierwszym profesorem antropologii w Oksfordzie. Wprowadził koncepcję **przeżytków**, aby nakreślić wielką ścieżkę ludzkiej ewolucji społecznej i kulturowej. Przez przeżytki

rozumiał zwyczaje społeczne i religijne, przesądy i różne sposoby organizowania więzi rodzinnych. Według Tylora te przeżytki były „zamrożone” między innymi u prymitywnych ludów Afryki i stanowiły wskazówki dotyczące wspólnej przeszłości ludzkiej rasy. Tylor i jego zwolennicy chcieli poznać korzenie mowy ludzkiej, więc analizowali gesty i inne sposoby komunikowania się.

Pierwsi antropolodzy przeciwstawili dynamiczną Europę, Amerykę Północną, Australię i Nową Zelandię rzekomo niezmiennym, prymitywnym ludom, a nawet wielowiekowym i złożonym kulturom Indii i Chin. Dziś wiemy, że było to aroganckie. Wydawało się, że idea ewolucyjnej konkurencji i walki w odniesieniu do zachodniego społeczeństwa wyjaśnia, dlaczego niektóre jednostki świetnie sobie radzą w życiu, a inne nie. W miarę jak kapitalizm przemysłowy rósł w siłę, zaczęto posługiwać się koncepcją **darwinizmu społecznego** (ewolucji przeniesionej na grunt kultury) do wyjaśnienia, dlaczego niektórzy ludzie są bogaci, a inni biedni, dlaczego niektóre narody są potężne, a inne nie. Darwinizm społeczny uzasadniał triumf silnych jednostek, ras i narodów nad słabszymi.

Gdy jedni dyskutowali o darwinizmie społecznym, inni debatowali o biologicznej ewolucji. Aż do ostatniego dziesięciolecia XIX wieku wszystkie znalezione skamieliny ludzkie uważano za szczątki *Homo sapiens*. Status neandertalczyka wciąż jednak pozostawał niepewny. Wtedy holenderski antropolog Eugène Dubois (1858–1940) pojechał do Holenderskich Indii Wschodnich, aby w kraju orangutanów szukać dowodów ludzkiej ewolucji. Na Jawie znalazł skamieniały dach czaszki należącej do hominida chodzącego w postawie wyprostowanej, ale niebędącego człowiekiem. Nazwał go człowiekiem jawajskim. Wówczas uwagę naukowców przykuła Azja, w której człowiekowate również ewoluowały. Od-

krycie człowieka jawajskiego (pitekantropa) i szkieletu w Cro-Magnon we Francji zrodziły kolejne pytanie: co było pierwsze – postawa wyprostowana, duży mózg czy język i życie w grupach społecznych?

W Azji znaleziono jeszcze wiele szczątków człowiekowatych. Jednak w XX wieku okazało się, że przeczucie Darwina co do Afryki było słuszne. W 1924 roku australijski anatom Raymond Dart (1893–1988) odkrył szczątki **dziecka z Taung**. W obronie znaczenia tego odkrycia stanął południowoafrykański lekarz Robert Broom (1866–1951). Dziecko z Taung miało zęby jak człowiek, ale jego mózg był podobny do małpiego. Broom wierzył, że znalezisko Darta (i kilka innych późniejszych, w tym szczątki dorosłej istoty) to szczątki przodków człowieka. Dart nazwał ten gatunek *Australopithecus africanus*, dosłownie „południowa małpa z Afryki". Dziś wiek tego gatunku szacujemy na 2,4–3 milionów lat. Po dziecku z Taung w Afryce odkryto jeszcze wiele innych ważnych skamielin, które pomogły odtworzyć ewolucję przodków człowieka. Louis (1903–1972) i Mary (1913–1996) Leakeyowie swoimi dokonaniami jeszcze bardziej rozsławili dzieje gatunku ludzkiego. W latach pięćdziesiątych XX wieku pracowali głównie w wąwozie Olduvai w Kenii. Louis Leakey podkreślał, że wczesne hominidy wytwarzały narzędzia. Jednego z hominidów, żyjącego 1,6–2,4 milionów lat temu, nazwał *Homo habilis*, czyli człowiek zręczny. W latach siedemdziesiątych Mary Leakey odkryła odciski stóp sprzed 3,6 miliona lat, zachowane w skamieniałym popiele wulkanicznym. Należały do trzech hominidów idących w postawie wyprostowanej oraz innych zwierząt, co sugerowało, że chodzenie na dwóch nogach pojawiło się wcześniej, zanim wykształcił się duży mózg.

W pierwszej połowie XX wieku prowadzenie badań nad skamieniałymi kośćmi ludzkimi skomplikowały dziwne zna-

leziska w żwirowni w wiosce Piltdown w południowej Anglii. Pierwszego dokonano w 1908 roku. Cztery lata później miejscowy archeolog amator Charles Dawson (1864–1916) ogłosił znalezienie czaszki w Piltdown. Wzbudziło ono ogromne zainteresowanie. Człowiek z Piltdown miał współcześnie wyglądającą czaszkę i szczękę jak u małpy. Wydawał się brakującym ogniwem ewolucji między małpami a współczesnym człowiekiem. Wielu wybitnych naukowców opublikowało prace na temat tego niezwykłego odkrycia. Trudno jednak było je wpasować w szereg skamielin nowych hominidów i prehistorycznych małp. Znalezisko z Piltdown zawsze budziło podejrzenia, a na początku lat pięćdziesiątych XX wieku techniki datowania, nieznane jeszcze w 1908 roku, ujawniły, że to mistyfikacja. Ktoś połączył współczesną czaszkę ze szczęką orangutana i namoczył je w chemikaliach, aby wyglądały na starsze niż w rzeczywistości. Zęby też zostały wstawione. Nie ma pewności, kto tego dokonał. Było kilku podejrzanych, ale żadnego winnego. Sam Dawson plasuje się wysoko na liście podejrzanych o fałszerstwo.

Gdy stwierdzono, że odkrycie z Piltdown to oszustwo, udało się uporządkować inne skamieliny hominidów w bardziej prawdopodobną sekwencję, wykorzystując technikę datowania radiometrycznego do ustalenia ich wieku i porównując ich cechy fizyczne. Wyjątkową sławę zyskała skamielina nazwana Lucy, którą wystawiano w wielu miastach. Powstała nawet jej „biografia”. Ponad połowę szkieletu Lucy znaleziono w Etiopii w 1978 roku. Kobieta żyła 3–4 miliony lat temu, a zatem dużo wcześniej niż dziecko z Taung. Lucy (podobnie jak dziecko z Taung) zakwalifikowano do rodzaju *Australopithecus*, ale do starszego gatunku *afarensis* (czyli małpa z Afar). Jej nogi, miednica i stopy wskazują na to, że prawdopodobnie chodziła wyprostowana oraz wspinała się

na drzewa lub skały. Pojemność jej mózgu nie była dużo większa niż u współczesnych szympansów, ale w porównaniu do ciała i tak była większa niż u tych małp. (Proporcja mózgu do ciała lepiej informuje o funkcjach umysłowych niż sama wielkość mózgu; słonie mają większe mózgi niż ludzie, ale mniejszy współczynnik mózg : ciało. Oczywiście na inteligencję wpływa też wiele innych czynników, nie tylko wielkość mózgu). Lucy wykazuje cechy mieszane, nie „nagiej małpy", ale osobnej istoty, która odniosła sukces ewolucyjny.

Setki skamieniałości hominidów z różnych zakątków świata pozwoliły nam dość dobrze poznać ścieżkę ewolucyjną prowadzącą do powstania współczesnego człowieka. Potrafimy nawet powiedzieć, co jadali nasi przodkowie i jakie pasożyty im dokuczały. W tej układance brakuje jeszcze wielu kawałków i trwają dyskusje mające na celu ustalenie nowych szczegółów (np. co mówi nam ten ząb albo kształt kości udowej?) Czeka nas jeszcze mnóstwo niespodzianek, ponieważ wciąż wykopujemy kolejne skamieliny. W 2003 roku w Indonezji australijski archeolog Mike Morwood (1950–2013) wraz kolegami znalazł małe hominidy z wyspy Flores. Żyły zaledwie 15 tysięcy lat temu, ale należały do przypuszczalnie nieznanego gatunku. Dokładny status *Homo floresiensis* (człowiek z Flores, zwany hobbitem) jest wciąż niepewny. Próby analizy jego DNA (najpewniejszy sposób ustalania biologicznego pokrewieństwa) na razie nie przyniosły rezultatów.

Rozpracowywanie relacji łączących neandertalczyków ze współczesnymi ludźmi to ekscytujące wyzwanie. Ten gatunek z pewnością żył w Europie około 50 tysięcy lat temu, w tym samym czasie co *Homo sapiens*. Mamy część jego genów. Czy *Homo sapiens* przyczynił się do wyginięcia neandertalczyków? Przypuszczalnie tak. Oba gatunki musiały

znosić bardzo niskie temperatury podczas ostatniego zlodowacenia w Europie i neandertalczycy go nie przeżyli.

Aby zrekonstruować drzewo rodzinne ludzi na podstawie skamielin z różnych czasów i miejsc, naukowcy używają takich samych narzędzi i technik, z jakich korzystają przy badaniu innych istot, np. koni czy hipopotamów. Jednak przy pracy nad historią gatunku ludzkiego towarzyszy im znacznie więcej emocji. Twarde dowody, które paleontolodzy, antropolodzy, archeolodzy i inni specjaliści usiłują poskładać w całość, prowadzą do ustaleń, że hominidy, w tym *Homo sapiens*, najpierw żyły w Afryce, a stamtąd rozprzestrzeniły się na inne obszary. Naukowcom brakuje jeszcze wielu informacji, między innymi o migracjach wczesnych hominidów. Czy było kilka fal migracji z Afryki? Co doprowadziło do szybkiej ewolucji dużego mózgu, który odróżnia nasz gatunek od pokrewnych? Nauka zajmuje się szukaniem odpowiedzi głównie na pytanie „jak”, nie „dlaczego”. Szczególnie dotyczy to wiedzy o naszych przodkach i – jak to określił Huxley – „miejsca człowieka w przyrodzie”.

ROZDZIAŁ 36

Cudowne leki

Na Ziemi może być nawet 5 milionów bilionów bilionów bakterii (5 x 10^{30}, czyli piątka i trzydzieści zer). To wręcz niewyobrażalna liczba. Bakterie mogą żyć prawie wszędzie: w glebie, oceanach, arktycznym lodzie, gorącej wodzie gejzerów, głęboko pod ziemią w skałach, na naszej skórze i wewnątrz naszych ciał. Robią wiele pożytecznych rzeczy. Gdyby ich zabrakło, co by się stało ze wszystkimi odpadkami, które rozkładają? Nasz organizm wykorzystuje ich zdolność do trawienia. Bakterie żyjące w naszym przewodzie pokarmowym rozkładają zjedzone przez nas pokarmy, uwalniając białka i witaminy. Niektóre bakterie, a także inne mikroorganizmy (np. grzyby) potrafią wytwarzać substancje lecznicze, zwane antybiotykami. Większość z nas już zażywała te preparaty.

W XIX wieku uczeni odkryli, że niektóre bakterie wywołują poważne choroby i zakażają rany. W rozdziale 27 opowiedziałem o tym, jak przyjęto teorię drobnoustrojów chorobotwórczych. Naukowcy natychmiast zaczęli szukać takich le-

ków, które zabijają atakujące nas bakterie, ale nie uszkadzają komórek naszego ciała. Było to poszukiwanie „magicznych kul", jak powiedział niemiecki lekarz Paul Ehrlich (1854–1915). Wynalazł on lek na syfilis, ale medykament zawierał trujący arszenik, który wywoływał poważne skutki uboczne, więc trzeba było bardzo ostrożnie go dawkować.

W połowie lat trzydziestych XX wieku niemiecki lekarz Gerhard Domagk (1895–1964) do leczenia zaczął używać siarki. Stwierdził, że związek chemiczny o nazwie prontosil skutecznie likwiduje kilka rodzajów chorobotwórczych bakterii. Jedną z pierwszych pacjentek, na których sprawdzał działanie tego preparatu, była jego córka zakażona paciorkowcami powodującymi infekcje skóry. Prontosil pomagał także na szkarlatynę i gorączkę połogową, która zabijała kobiety po porodzie. W 1936 roku lek wszedł do powszechnego użytku i przyczynił się do wyraźnego spadku śmiertelności z powodu zakażeń paciorkowcami. Prontosil i inne preparaty na bazie siarki były najlepszymi środkami, które lekarze mogli przepisać na określone infekcje bakteryjne. W 1939 roku Domagk otrzymał Nagrodę Nobla (choć w tym czasie już naziści zabraniali Niemcom jej odbierania).

Następną Nagrodę Nobla za odkrycie leku przyznano po wojnie, w 1945 roku. Trzech naukowców – Szkot Alexander Fleming (1881–1955), Australijczyk Howard Florey (1898–1968) i niemiecki uchodźca Ernst Chain (1906–1979) – podzielili się nagrodą za odkrycie penicyliny (pierwszego antybiotyku). Antybiotyk to substancja produkowana przez jeden mikroorganizm, zabijająca inne mikroorganizmy. Penicylinę wyodrębniano z naturalnego źródła – *Penicillium notatum*, czyli pędzlaka, będącego rodzajem grzyba. Na starym chlebie można zobaczyć niebieskawe wykwity pleśni – to są właśnie grzyby takie jak pędzlak. Szacuje się, że na naszej planecie występuje pół miliona gatunków grzybów

pleśniowych. Mają skomplikowany cykl życiowy, w tym stadium zarodnikowe przypominające nasiona roślin. Współczesne antybiotyki produkuje się w laboratoriach, a nie uzyskuje z naturalnych źródeł (czyli grzybów), ale mają one identyczne działanie.

Historia penicyliny zaczęła się na dobre w latach dwudziestych XX wieku. Jak wszystkie ciekawe historie ma kilka wersji. Według jednej z nich w 1928 roku zarodniki pleśni wleciały przez okno do laboratorium Alexandra Fleminga w londyńskim szpitalu Świętej Marii. Lekarz zauważył, że bakterie hodowane na szalkach Petriego przestały rosnąć tam, gdzie osiadły zarodniki. Stwierdził, że są to zarodniki pędzlaków. Przeprowadził badania i opublikował wyniki, aby podzielić się nimi z bakteriologami. Nie wiedział jednak, jak uzyskać więcej substancji wyprodukowanej przez zarodniki. Fleming ograniczył się więc do interesującej i obiecującej laboratoryjnej obserwacji.

Dekadę później Europę ogarnęła druga wojna światowa. Konflikty zbrojne zawsze sprzyjały wybuchom chorób zakaźnych wśród żołnierzy i cywilów. Dlatego mieszkającego w Anglii patologa Howarda Floreya poproszono o znalezienie skutecznego leku przeciw infekcjom. Jeden z jego współpracowników, Ernst Chain, zaczął czytać wszystko na ten temat, do czego tylko miał dostęp, między innymi starą pracę Fleminga. Następnie spróbował wyekstrahować aktywną substancję wytwarzaną przez pędzlaka. W marcu 1940 roku inny z asystentów Floreya, Norman Heatley (1911–2004), znalazł lepszy sposób pozyskiwania tej obiecującej substancji. Pracując w ciężkich wojennych warunkach, naukowcy musieli sobie radzić bez dostatecznych środków finansowych na badania. Do hodowli roztworów pleśni używali szpitalnych nocników i maselnic. Mimo to udało im się uzyskać stosunkowo czystą penicylinę. Testy

na myszach pokazały, że bardzo skutecznie ogranicza ona infekcje. Jednak wyizolowanie tej cudownej substancji było bardzo trudne. Potrzeba było aż tony surowego roztworu penicyliny, aby uzyskać dwa gramy lekarstwa. Pierwszym pacjentem leczonym penicyliną był policjant, któremu po zadrapaniu kolcem róży wdało się zakażenie. Po podaniu leku jego stan na krótko się poprawił. Naukowcy filtrowali jego mocz, aby odzyskiwać cenny lek. Jednak gdy zapasy penicyliny się skończyły, policjant zmarł.

W czasie wojny Wielka Brytania nie miała dość zasobów przemysłowych, aby wyprodukować wystarczającą ilość penicyliny. Dlatego w lipcu 1941 roku Florey i Heatley polecieli do Stanów Zjednoczonych, aby nakłonić do tego amerykańskie firmy farmaceutyczne. Florey był naukowcem starej daty. Wierzył, że takie odkrycia powinny służyć ogólnemu dobru i nie należy ich patentować. (Patent to sposób na ochronę pomysłu wynalazcy, gwarantujący, że nikt inny go nie skopiuje). Amerykanie mieli do tego inne podejście. Dwie firmy opracowały specjalne metody produkcji penicyliny na masową skalę. Aby zwróciły im się pieniądze zainwestowane w badania, opatentowali te metody, co oznaczało, że nikt inny nie może ich zastosować do produkcji leku. W 1943 roku penicylinę wprowadzono do użytku wojskowego i w ograniczonym stopniu cywilnego. Okazało się, że skutecznie zwalcza paciorkowce i niektóre mikroorganizmy wywołujące zapalenie płuc, mnóstwo infekcji ran oraz określone choroby przenoszone drogą płciową. Wkrótce produkowano już tyle penicyliny, że podawano ją tym, którzy jej potrzebowali, zwłaszcza żołnierzom na froncie, by jak najszybciej doprowadzić do zakończenia wojny.

W czasie gdy Florey i jego zespół zajmowali się penicyliną, Selman Waksman (1888–1973), który przyjechał do Stanów Zjednoczonych w 1910 roku z Ukrainy, prowadził projekt

badawczy nad antybiotykowymi właściwościami bakterii. Fascynowały go mikroorganizmy żyjące w glebie. Zauważył, że niektóre z nich zabijają bakterie glebowe. Od końca lat trzydziestych próbował wyizolować z nich substancje, które mogły działać jak antybiotyk. Wraz ze studentami pozyskał kilka skutecznych substancji, ale okazały się one zbyt toksyczne dla ludzi. W 1943 roku jeden z jego studentów wyizolował streptomycynę z promieniowców (*Streptomyces*, rodzaj bakterii). Była skuteczna i mało szkodliwa dla pacjentów. Zwalczała prątki gruźlicy, a ta choroba zabiła w XIX wieku więcej ludzi niż jakakolwiek inna. Co prawda w latach czterdziestych XX wieku była już mniej rozpowszechniona na Zachodzie, ale wciąż jeszcze zbierała śmiertelne żniwo na świecie. Jej ofiarą zwykle padali młodzi ludzie, zostawiając owdowiałe żony lub mężów oraz osierocone dzieci.

Penicylina i streptomycyna były pierwszymi lekarstwami z dużej grupy antybiotyków i innych preparatów przeciw chorobom zakaźnym. Po drugiej wojnie światowej dały ludziom nadzieję, że dzięki potędze medycyny takie choroby zostaną pokonane, a nawet całkowicie wyeliminowane. Na Zachodzie coraz mniej ludzi umiera z powodu infekcji, ale nie udało się ich całkowicie pokonać. Co jakiś czas następuje gwałtowny wzrost umieralności z powodu nowych chorób, takich jak AIDS. Mimo to w XXI wieku wielu młodych ludzi jest zdrowszych od swoich rodziców i dziadków.

Gdyby jednak optymiści z lat sześćdziesiątych XX wieku uważniej prześledzili historię wcześniejszych odkryć farmaceutycznych, zdaliby sobie sprawę z tego, że cuda się nie zdarzają. Dowodzi tego przykład insuliny stosowanej do leczenia cukrzycy od lat dwudziestych XX wieku. Cukrzyca to ciężka choroba, która może występować w dwóch postaciach (typ 1 i typ 2). Jeśli się jej nie leczy, chorzy na cukrzy-

cę typu 1 tracą wagę i stają się chorobliwie chudzi, są ciągle spragnieni, często oddają mocz, wpadają w śpiączkę i w końcu umierają. Schorzenie to na ogół atakuje młodych ludzi. To skomplikowana choroba, a jej podstawową przyczyną jest to, że produkujące insulinę komórki trzustki (organ w pobliżu żołądka) przestają działać. Insulina to hormon, czyli chemiczny „przekaźnik", który pozwala utrzymać stężenie cukru we krwi na prawidłowym poziomie.

Penicylinę odkryto dzięki szczęśliwemu przypadkowi, natomiast uzyskanie insuliny było efektem żmudnych badań nad działaniem różnych części ludzkiego organizmu. Naukowcy wykazali znaczenie trzustki, usuwając ją psom (i innym zwierzętom), które później zapadały na chorobę podobną do cukrzycy. Latem 1921 roku szef instytutu badawczego na uniwersytecie w Toronto (Kanada), profesor John James Richard Macleod (1876–1935), był nieobecny. Młody chirurg Frederick Banting (1891–1941) i jego asystent, student Charles Best (1899–1978), przeprowadzili w tym czasie serię prostych doświadczeń. Z pomocą biochemika Jamesa Collipa (1892–1965) udało im się wyizolować i oczyścić insulinę z trzustek psów. Gdy podali ją zwierzętom doświadczalnym, którym wcześniej usunęli trzustki, cukrzyca ustąpiła.

Insulina została opisana jako „siła o magicznym działaniu". Dosłownie ratowała od pewnej śmierci chorych na cukrzycę typu 1. W 1922 roku jednym z nich był czternastoletni Leonard Thompson, pierwszy pacjent leczony zastrzykami z insuliny. Chory miał poważną niedowagę i był tak słaby, że nie wstawał ze szpitalnego łóżka. Zastrzyki obniżyły poziom cukru w jego krwi, przybrał na wadze i mógł opuścić szpital ze strzykawką i zapasem insuliny.

Rok później Banting i profesor Macleod otrzymali Nagrodę Nobla i podzieli się pieniędzmi z Bestem i Collipem. Tak

szybkie wyróżnienie naukowców świadczyło o tym, że wszyscy docenili wagę ich pracy. Insulina była bardzo ważna. Dała wiele dodatkowych lat życia całej rzeszy młodych ludzi, ale nie gwarantowała normalnej egzystencji. Cukrzycy musieli stosować dietę, regularnie przyjmować insulinę w zastrzykach i często badać poziom cukru. Taki lek był jednak lepszy niż żaden. Dekadę lub dwie później wielu z nich zaczęło cierpieć z powodu innych dolegliwości: niewydolności nerek, chorób serca, zaburzeń wzroku i bolesnych wrzodów na nogach, które nie chciały się goić. Insulina zmieniła ostrą, śmiertelną chorobę w trwające do końca życia schorzenia, które wymagały nieustannego leczenia. Te same problemy pojawiły się w przypadku cukrzycy typu 2, która dotyka głównie ludzi otyłych. Obecnie jest to najbardziej rozpowszechniona odmiana tej choroby i zapada na nią coraz więcej osób. Współczesna dieta zawiera zbyt dużo cukru i opiera się na przetworzonej żywności, a otyłość przybrała rozmiary globalnej epidemii. Nauka i medycyna pomogły: tabletki obniżają poziom cukru we krwi, ale w późniejszych latach chorzy na cukrzycę typu 2 muszą zmagać się z takimi samymi dolegliwościami co inni cukrzycy. Leki nie są tak dobre w regulowaniu poziomu cukru w organizmie jak nasze własne organy.

Natura pokazała nam, że nie możemy całkowicie polegać na penicylinie i innych antybiotykach. Te leki wciąż są przydatne, ale bakterie szybko przystosowują się do nowych warunków i stają się na nie oporne. Odkryty przez Darwina dobór naturalny działa w całej przyrodzie i bakterie wytworzyły mechanizmy obronne przed lekami, które miały je zabijać. Szczególnie dobrze przystosowują się gronkowce i prątki gruźlicy. Ich geny, tak jak wszystkich innych istot żywych, czasami ulegają mutacjom, które pozwalają im przetrwać i są przekazywane następnemu pokoleniu. Dziś

leczenie infekcji to swego rodzaju zabawa w kotka i myszkę – opracowujemy nowe leki, aby atakować zarazki odporne prawie na każdą broń, którą jesteśmy w stanie przeciw nim wytoczyć. Jednym z ostatnich problemów jest gronkowiec złocisty oporny na metycylinę (MRSA, z ang. methicyllin-resistant *Staphylococcus aureus*). To jedna z tych bakterii, które normalnie żyją w naszych ciałach, a w razie zadrapania mogą wywołać niewielką infekcję. Groźna jest dopiero odmiana oporna na antybiotyki, która często występuje w szpitalach. Ponieważ tam używa się wielu antybiotyków, przeżywają jedynie najsilniejsze bakterie, które wykształciły na nie oporność. Nie tylko bakterie przeciwstawiają się próbom kontrolowania chorób. Prawie żaden lek nie działa również na niektóre pasożyty wywołujące malarię.

Wiemy już, że drobnoustroje stają się oporne na leki, gdy pacjenci nie zażywają całej przepisanej im dawki leku albo kiedy lekarze niewłaściwie dozują lekarstwa. Prowadzi do tego także nieodpowiednie stosowanie antybiotyków – często są niepotrzebnie podawane na przeziębienia, infekcje i bóle gardła wywoływane przez wirusy. (Antybiotyki zwalczają bakterie, ale nie działają na wirusy). Jeśli dawka antybiotyku jest niewystarczająca do zabicia chorobotwórczych bakterii, leczenie powoduje wykształcenie opornych szczepów. W przyszłości mogą one wywołać chorobę, której nie będziemy potrafili niczym wyleczyć.

Mimo tych wszystkich problemów lekarze mają dziś dużo więcej silnych i skutecznych lekarstw niż kiedykolwiek wcześniej. Niektóre, jak insulina, pozwalają raczej kontrolować chorobę, niż z niej wyleczyć, ale wszystkie współczesne leki dają ludziom szanse na dłuższe życie. W wielu krajach, szczególnie wysoko rozwiniętych, wzrosła także średnia długość życia. Poważne problemy, zwłaszcza w ubogich społeczeństwach, jednak pozostały: nie zawsze łatwo dostać się

do lekarza, zdobyć wystarczającą ilość pożywienia, pić czystą wodę lub mieszkać w wygodnym domu. Od początku lat dziewięćdziesiątych XX wieku powiększa się przepaść między zamożnymi a biednymi ludźmi w bogatych krajach, a także między zamożnymi a biednymi krajami, a tak nie powinno być.

Zapewnienie opieki medycznej kosztuje dziś bardzo dużo. Wykorzystuje się zaawansowane technologie do diagnozowania chorób, a potem do leczenia pacjentów. Opracowanie i przetestowanie nowych leków to obecnie znacznie większy wydatek finansowy niż kiedyś wyprodukowanie penicyliny. Musimy zatem sami dbać o siebie, jeśli tylko możemy. Niezależnie od tego, jak bardzo rozwija się medyna, prawdziwe zawsze pozostanie powiedzenie: „Lepiej zapobiegać, niż leczyć”.

ROZDZIAŁ 37

„Cegiełki” komórki: RNA i DNA

Z biegiem czasu naukowcy zaczęli się specjalizować w wybranych dziedzinach. Biolodzy tradycyjnie zajmowali się biologią, chemicy – chemią, a fizycy – fizyką. Co zatem w latach trzydziestych XX wieku spowodowało, że najpierw chemicy, a następnie fizycy postanowili wkroczyć w sferę problemów przypisanych biologom? Chemia to nauka o związkach chemicznych i reakcjach. Jednak stało się jasne, że żywe organizmy – przedmiot badań biologii – składają się z niektórych pierwiastków układu okresowego, takich jak węgiel, wodór, tlen i azot. Fizyka to nauka o materii i energii, o atomach i cząstkach elementarnych. Czyż nie była sposobem na lepsze zrozumienie istoty pierwiastków chemicznych? Czy chemia i fizyka nie mogłyby zatem opisać żywych organizmów jako szeregu reakcji chemicznych i struktur atomowych? I być może pomogłyby znaleźć odpowiedź na jedno z najstarszych pytań w nauce: czym jest życie?

W pierwszych dekadach XX wieku Thomas Hunt Morgan na przykładzie muszek owocowych pokazał, że chromosomy

(struktura będąca nośnikiem informacji genetycznej) znajdujące się w jądrze komórkowym przenoszą materiał umożliwiający dziedziczenie cech. „Materiał” był tu dobrym określeniem. Genetycy potrafili całkiem dobrze wytłumaczyć, co ten materiał robi. Sprawdzili, że geny położone na różnych odcinkach chromosomu odpowiadają za rozwój oka czy skrzydła. Mogli nawet pokazać, jak mutacje wywołane promieniowaniem rentgenowskim prowadzą do wykształcenia skrzydeł o nietypowym kształcie – ponieważ byli przekonani, że promienie X wpływają na geny. Nie wiedzieli jednak, czym są geny.

Czy tym materiałem genetycznym mogłyby być białka? Biorą one udział w wielu ważnych reakcjach w naszych organizmach. Były pierwszą grupą związków systematycznie przebadanych przez biologów molekularnych. Biologia molekularna jest nauką pozwalającą zrozumieć chemiczny aspekt i sposób działania molekuł (cząsteczek) w żywych organizmach. Białka to przeważnie bardzo duże, skomplikowane cząsteczki złożone z grup aminokwasów będących mniejszymi i prostszymi elementami. Ponieważ aminokwasy mają prostszą budowę, łatwiej było ustalić, z czego się składają, przeprowadzając zwykłe reakcje chemiczne syntezy i analizy. Istnieje około dwudziestu aminokwasów, które w różnych kombinacjach tworzą białka roślinne i zwierzęce.

Znacznie trudniej było się dowiedzieć, w jakie struktury łączą się aminokwasy, aby powstały białka. W tej kwestii pomogli fizycy i promieniowanie rentgenowskie. Badane białko najpierw trzeba było zmienić w kryształ, a następnie bombardować go promieniowaniem rentgenowskim. Promienie X trafiające w kryształ uginają się i przechodzą dalej albo odbijają się z powrotem, tworząc określony wzór zwany obrazem dyfrakcyjnym. Można go utrwalić na kliszy fotograficznej.

Odczytywanie obrazów dyfrakcyjnych z klisz fotograficznych jest trudnym zadaniem. Widać jedynie mnóstwo kropek i cieni układających się w misterny wzór. Patrzy się na płaski obraz, ale trzeba myśleć trójwymiarowo, a założenie okularów 3D nic nie pomoże. Trzeba nie tylko umieć wyobrazić sobie trójwymiarową strukturę, ale też znać się na chemii i rozumieć, jak pierwiastki łączą się ze sobą. Trzeba też być dobrym matematykiem. To wyzwanie podjęła chemiczka pracująca na Uniwersytecie Oksfordzkim – Dorothy Hodgkin (1910–1994). Jej badaniom rentgenograficznym zawdzięczamy znaczną część naszej wiedzy o strukturze penicyliny, witaminy B_{12} oraz insuliny. W 1964 roku otrzymała za to Nagrodę Nobla.

Linus Pauling (1901–1994) również potrafił umiejętnie wykorzystać promieniowanie rentgenowskie do badania struktury skomplikowanych związków chemicznych. Przeprowadził razem ze swoimi współpracownikami serię ciekawych eksperymentów, w których wykazał, że jeśli cząsteczce hemoglobiny we krwi brakuje zaledwie jednego aminokwasu, powoduje to poważną chorobę – anemię sierpowatą. (Czerwone krwinki, zamiast być okrągłe, stają się półksiężycowate). Ta wada krwi najczęściej występuje u mieszkańców Afryki, gdzie szerzy się malaria. Stanowi ona przykład ludzkiej ewolucji. Posiadacze tylko jednej kopii wadliwego genu (którego dziedziczenie odbywa się tak samo jak w przypadku grochu badanym przez Mendla) w umiarkowanym stopniu cierpią na niedokrwistość, ale są bardziej odporni na malarię. Potomstwo, które odziedziczy ten gen po obojgu rodzicach, ma ciężką postać anemii. Symptomy anemii sierpowatej zidentyfikowano na początku XX wieku. Pięć lat później Pauling zastosował nową technikę biologii molekularnej, aby ustalić, na czym polega ta choroba. Jego badania

zapoczątkowały nową erę w medycynie – **medycynę molekularną**.

Po sukcesach w badaniu białek Paulingowi niemal udało się rozwiązać najtrudniejszą zagadkę – odkryć strukturę molekularną genów. Z jego eksperymentów rentgenograficznych wynikało, że wiele białek, na przykład te, które budują włosy i mięśnie lub przenoszą tlen (hemoglobina), ma specyficzny kształt. Często zwijały się w spiralę (helisę). Na początku lat pięćdziesiątych XX wieku wielu naukowców sądziło, że geny są zbudowane z kwasu deoksyrybonukleinowego, lepiej znanego jako DNA. Kwas ten odkryto już w 1869 roku, ale ustalenie, jak wygląda i do czego służy, zajęło uczonym mnóstwo czasu. W 1952 roku Pauling zasugerował, że DNA ma postać długiej cząsteczki skręconej z trzech nici, czyli potrójnej helisy.

Gdy Pauling pracował w Kalifornii, dwie grupy uczonych z Anglii robiły wszystko, aby dokładnie zbadać DNA. W londyńskim King’s College fizyk Maurice Wilkins (1916–2004) i chemiczka Rosalind Franklin (1920–1958) zajęli się biologią molekularną. Franklin świetnie robiła i odczytywała rentgenogramy (dyfraktogramy). W Cambridge młody Amerykanin James Watson (ur. 1928) porzucił dotychczasowe zainteresowanie ornitologią (nauką o ptakach) i zaczął współpracę z Francisem Crickiem (1916–2004). Crick studiował fizykę i po pracy dla Admiralicji podczas drugiej wojny światowej wrócił na uniwersytet jako dorosły student tym razem po to, aby zgłębiać biologię. Watson i Crick stworzyli jeden z najsłynniejszych duetów naukowych.

Crick wniósł do zespołu doświadczenie w analizowaniu rentgenogramów struktury białek. Obaj wiedzieli, że DNA występuje w chromosomach w jądrze komórkowym – tych samych elementach komórki, które trzydzieści lat wcześniej badał Morgan. Budowali wycięte z papieru modele, które

miały im pomóc zrozumieć możliwe struktury DNA. Korzystali także ze zdjęć zrobionych przez Franklin. Na początku 1953 roku zbudowali model pasujący do wszystkich danych z rentgenogramów. Uznali, że jest właściwy. Według anegdoty wieczorem poszli do pubu świętować odkrycie „tajemnicy życia", jak to sami określili. Zapewne inni goście pubu nie bardzo się orientowali, co uczeni mieli na myśli, ale wkrótce dowiedzieli się o tym czytelnicy tygodnika naukowego *Nature*. Crick i Watson opublikowali wyniki swojego odkrycia w numerze z 25 kwietnia 1953 roku. W czasopiśmie ukazał się też tekst zespołu londyńskiego – Wilkinsa i Franklin. Jednakże to Crick i Watson dowiedli, że DNA tworzą dwie skręcone nici, a nie trzy, jak sądził Pauling. Nici były połączone poprzeczkami, więc całość wyglądała jak długa, elastyczna drabina, która została skręcona spiralnie. Słupki drabiny zbudowane są z cząsteczek cukru deoksyrybozy (D) oraz fosforu. Każdy szczebel drabiny tworzy para cząsteczek: adenina (A) i tymina (T) lub cytozyna (C) i guanina (G). To tak zwane komplementarne pary zasad. Skoro DNA ma taką strukturę, to w jaki sposób wyjaśnia ona „tajemnicę życia"?

Pary zasad są połączone wiązaniami wodorowymi. Gdy komórka się dzieli, helisa się rozwija, a nici oddzielają – jakby ktoś rozsuwał suwak między nimi. Obie połówki helisy stają się wzorami, według których komórka tworzy komplementarne do nich nici. Powstają więc dwa identyczne łańcuchy DNA. Crick i Watson pokazali, w jaki sposób geny są przekazywane potomstwu i jak to się dzieje, że komórki potomne zawierają ten sam zestaw genów co macierzyste. Proces był prosty i elegancki i natychmiast stał się dla wszystkich jasny. W 1962 roku, kiedy środowisko naukowe w pełni zaakceptowało wyniki badań nad strukturą i rolą DNA, Crick, Watson i Wilkins dostali Nagrodę Nobla. Oficjalnie jedną

nagrodę można przyznać tylko trzem osobom. Rosalind Franklin została pominięta. W 1958 roku zmarła na raka jajników w wieku zaledwie trzydziestu ośmiu lat.

Francis Crick wraz z innymi kontynuował badania, aby wyjaśnić, dlaczego geny są tak ważne dla organizmów żywych, oprócz tego, że decydują o dziedziczeniu cech. Na co dzień ich zadaniem jest udział w syntezowaniu białek. **Kod genetyczny** tworzą trzy sąsiednie szczeble drabiny, a każda trójka zasad (kodon albo triplet) koduje jeden aminokwas. Crick wykazał, że niewielkie fragmenty (sekwencje) cząsteczki DNA dostarczają kodu do syntetyzowania aminokwasów, z których składają się białka takie jak hemoglobina czy insulina. Genetycy zdali sobie sprawę z tego, jak istotna jest kolejność par zasad (szczebli drabiny) w cząsteczce DNA. Decyduje ona, który aminokwas zostanie wbudowany w białko. Cząsteczki białek mają bardzo skomplikowaną budowę, czasami zawierają dziesiątki aminokwasów, więc do zakodowania białka potrzebna jest długa sekwencja DNA.

Dzięki tej podstawowej wiedzy o działaniu DNA naukowcy mogli zrozumieć wyniki obserwacji dokonanych przez Morgana w „pokoju much”. Morgan rejestrował widoczne cechy całego organizmu – w tym przypadku białe oczy u zwykłych much i czerwone u zmutowanych. Ten rodzaj widocznych cech nazywamy **fenotypem**. Od czasu odkryć Cricka i Watsona naukowcy mogli zacząć pracować na niższym poziomie niż cały organizm – na poziomie genów, czyli zajmować się **genotypem**.

Poznanie struktury DNA było punktem zwrotnym w dziejach współczesnej biologii. Dowiodło, że biolodzy mogą badać organizmy w kategorii cząsteczek zawartych w komórkach, czym wcześniej zajmowali się chemicy. Teraz wielu uczonych chciało nad tym pracować. Późniejsze badania ujawniły, że aminokwasy, a w efekcie białka, powstają w cy-

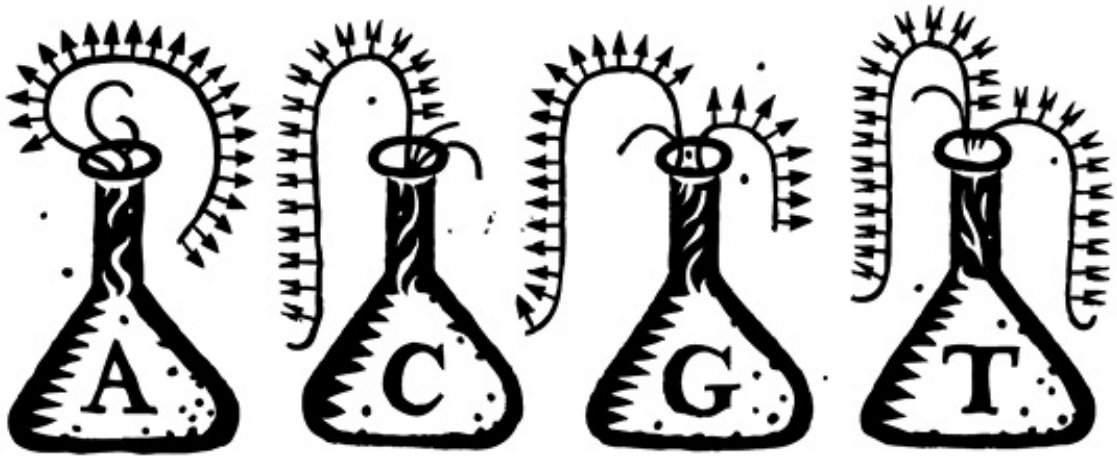
toplazmie komórkowej – płynnej substancji wokół jądra. Jednym z kroków na drodze do ustalenia, jak działa ta mała „fabryka” białek, było odkrycie kwasu rybonukleinowego (RNA). Jest on podobny do DNA, ale ma tylko jedną nić, a nie dwie, i jej podstawowym elementem jest inny rodzaj cukru. RNA odgrywa ważną rolę w przekazywaniu informacji z DNA w jądrze komórkowym do „fabryki” białek w cytoplazmie.

Biolodzy molekularni wykorzystali zdobytą wiedzę do ustalania przyczyn chorób. Odkryli, w jaki sposób białka wykonują swoje zadania, na przykład jak insulina reguluje poziom cukru we krwi. Lepiej poznali przyczyny powstawania nowotworów, które dziś należą do chorób budzących największy strach. Nowotwór może objąć całe ciało i stać się chorobą ogólnoustrojową, ale zwykle zaczyna się od jednej zmutowanej komórki, która nieprawidłowo się zachowuje i nie przestaje się dzielić we właściwym momencie. Takie „zbuntowane” komórki są zachłanne. Zużywają składniki odżywcze, a gdy dostaną się do ważnego organu, zakłócają jego funkcjonowanie, prowadząc do rozwoju choroby. Ustalenie, jak to się odbywa na poziomie cząsteczkowym, jest konieczne do tego, aby można było wynaleźć leki, które spowolnią proces chorobowy lub go zatrzymają.

Badanie tych dynamicznych procesów w dużych, złożonych organizmach, takich jak ludzkie ciało, jest trudne. Dlatego praca biologów molekularnych polega głównie na badaniu prostszych organizmów. Wiele wczesnych badań nad funkcjami DNA i RNA przeprowadzono na bakteriach, a badania nad rakiem – na myszach. Zastosowanie wyników tych badań na organizmie człowieksa nie jest łatwe, ale w ten sposób działa współczesna nauka – przechodzi się od rzeczy prostszych do bardziej skomplikowanych. Ta metoda pozwala zrozumieć procesy sterujące ewolucją od milionów

lat. Okazało się, że DNA jest cząsteczką kontrolującą nasze przeznaczenie.

ROZDZIAŁ 38



Projekt poznania ludzkiego genomu

Ludzie mają około 22 tysięcy genów (dokładniejsze liczenie trwa). Żeby je poznać, naukowcy w laboratoriach na całym świecie współpracowali w ramach projektu opracowania ludzkiego genomu. Ten ambitny program polegał na liczeniu genów poprzez **sekwencjonowanie DNA**, czyli odczytywanie kolejności wszystkich trzech miliardów par zasad w chromosomach tworzących nasz genom. To całkiem sporo cząsteczek adeniny, tyminy, cytozyny i guaniny ułożonych w podwójne helisy w jądrze każdej z naszych komórek.

Jeśli zrozumienie struktury DNA było poznaniem „tajemnicy życia”, to projekt poznania ludzkiego genomu jest czytaniem „księgi życia”. Bo tym właśnie jest **genom** – genami kodującymi wszystkie informacje o człowieku – od koloru włosów i oczu po kształt małego palca. Zapisane są w nim także informacje, których nie da się tak łatwo zobaczyć – instrukcje, jak jedna zapłodniona komórka jajowa ma się podzielić na dwie, a następnie na cztery komórki i tak dalej, aż w macicy powstanie dziecko. Genom kontroluje biolo-

giczne programy w komórkach. Zgodnie z tymi programami powstają białka, takie jak insulina regulująca poziom cukru we krwi. Genom uruchamia programy odpowiadające za substancje chemiczne w mózgu, które przekazują wiadomości z jednego nerwu do drugiego.

Prace nad projektem poznania ludzkiego genomu podjęto w 1990 roku. Miały się one zakończyć do 2005 roku. Jednak w kulminacyjnym momencie, 26 czerwca 2000 roku, pięć lat przed wyznaczonym terminem, wydarzyło się coś niespodziewanego. Przy dźwięku fanfar w bezpośredniej transmisji telewizyjnej prezydent Stanów Zjednoczonych i premier Wielkiej Brytanii ogłosili, że pierwszy szkic projektu jest już gotowy. Politykom towarzyszyło kilku naukowców, którzy wykonali to zadanie. Sam fakt obwieszczenia tego dokonania przez dwóch światowych liderów świadczył o doniosłości tego wydarzenia i wadze poznania genomu.

Przygotowanie znacznie lepszej wersji księgi życia trwało kolejne trzy lata – aż do 2003 roku uzupełniano braki i poprawiano błędy. I tak prace zakończono dwa lata przed wyznaczonym terminem. W trakcie trwania projektu stosowane przez naukowców metody i techniki, zwłaszcza komputerowe, zostały znacznie ulepszone, co niewątpliwie miało wpływ na przyspieszenie tempa badań.

Projekt poznania ludzkiego genomu był przedłużeniem i zwieńczeniem dekad badań przeprowadzonych po odkryciu DNA przez Cricka i Watsona w 1953 roku. Ważnym celem stało się sklonowanie nici DNA, aby można było uzyskać interesujące fragmenty cząsteczki DNA do dalszych analiz. Biolodzy molekularni pracowali nad tym w latach sześćdziesiątych XX wieku, używając enzymów i bakterii. Enzymy to białka zróżnicowane pod względem budowy i funkcji. W tym przypadku wykorzystano je zgodnie z ich naturalnym przeznaczeniem – do cięcia DNA na krótkie od-

cinki, które w specjalny sposób przenoszono do komórek bakterii. Drobnoustroje mnożą się bardzo szybko, więc zmodyfikowane bakterie rozmnażając się, kopiowały także dodane odcinki DNA. Te kopie, czyli klony, można było zebrać i wykorzystać do dalszych badań. Proces wzbudził duże podekscytowanie, ale to był dopiero początek. Można sklonować całe komórki, a także kawałki DNA. Owca Dolly była pierwszym ssakiem sklonowanym z dorosłej owcy. Urodziła się w 1996 roku, a zmarła w 2003. Techniki klonowania są stale rozwijane i budzą największe zainteresowanie mediów spośród wszystkich dokonań w dziedzinie biologii molekularnej.

Gdy naukowcy mieli już dużo odcinków DNA potrzebnych do badań, przystąpili do rozwiązywania problemów z sekwencjonowaniem DNA, czyli poznawania kolejności par zasad w cząsteczce DNA. To zadanie zlecono angielskiemu biochemikowi Frederickowi Sangerowi (1918–2013) pracującemu w Cambridge. Ten uczony w 1958 roku dostał Nagrodę Nobla za wkład w ustalenie kolejności aminokwasów w insulinie.

Jedna z podstawowych różnic między aminokwasami a DNA polega na tym, że cząsteczki DNA są znacznie dłuższe i mają dużo więcej par zasad, niż jest aminokwasów w białkach. Poza tym aminokwasy różnią się nieco między sobą pod względem chemicznym, natomiast zasady w DNA cechuje duże podobieństwo, przez co znacznie trudniej jest je zidentyfikować. Opierając się na swoich wcześniejszych pracach i dokonaniach innych, Sanger znalazł sposób na przygotowanie krótkich nici DNA – użył radioaktywnych znaczników, związków chemicznych i enzymów. Zaadaptował różne metody biochemiczne, aby znaleźć sposób na odróżnianie od siebie adeniny, tyminy, cytozyny i guaniny. W tym celu wykorzystał fakt, że mają nieco inne właściwo-

ści chemiczne i fizyczne. Najlepsze rezultaty dawała metoda zwana **elektroforezą**.

Aby być pewnym, że wyniki są poprawne, Sanger i jego zespół przetwarzali wiele kopii każdej nici po kilka razy i porównywali wyniki. Był to bardzo czasochłonny i żmudny proces. Jednak dzięki temu, że używali krótkich nici długiej cząsteczki, a potem sprawdzali, gdzie te odcinki się zaczynają i kończą, udało im się je dopasować i uzyskać czytelną sekwencję DNA. W 1977 roku odnieśli pierwszy sukces w odczytywaniu genomu dość skromnego organizmu. Był to bakteriofag φx 174. Bakteriofagi to wirusy atakujące bakterie, a φx 174 często wykorzystywano jako narzędzie w laboratoriach biologii molekularnej. W 1980 roku Sanger dostał drugą Nagrodę Nobla za te prace.

Do mapowania genomów przygotowywano inne organizmy laboratoryjne. Mimo że bardzo trudno jest utworzyć czytelną sekwencję DNA, biolodzy molekularni kontynuowali badania. W międzyczasie pojawiły się innowacje komputerowe, które pomogły w analizowaniu wzorów zasad na krótkich niciach. Naukowcy pracowali z zapałem. Gdyby dokładnie wiedzieli, jakie geny ma organizm i za powstanie których białek odpowiadają poszczególne geny, mogliby uzyskać sporo informacji o tym, jak tworzą się organizmy – dosłownie komórka po komórce, od zapłodnionej komórki jajowej po dorosły organizm.

Oczywistą kandydatką do badań była muszka owocowa. Już przed 1950 rokiem Thomas Hunt Morgan i jego grupa dowiedzieli się dużo o wzorcach dziedziczenia i z grubsza przeprowadzili mapowanie genów muszki. Kolejnym dobrym materiałem badawczym był mały nicień z gatunku *Caenorhabditis elegans*. Ma zaledwie milimetr długości i 959 komórek, w tym prosty układ nerwowy. Nie wygląda na zwierzątko domowe, ale przez wiele lat był ulubionym zwie-

rzęciem laboratoryjnym Sydneya Brennera (ur. 1927). W 1956 roku Brenner przyjechał z Afryki Południowej do Laboratorium Biologii Molekularnej w Cambridge. W latach sześćdziesiątych badał rozwój nicienia, ponieważ jego komórki były wyraźnie widoczne. Uważał, że uda się ustalić, czym każda komórka embriona staje się u osobnika dorosłego. Miał nadzieję, że jeśli pozna genom robaka, zdoła także powiązać geny z funkcjami życiowymi.

W trakcie pracy Brenner i jego zespół nauczyli się też wiele o życiu komórek zwierząt, w tym o bardzo ważnym zadaniu, które ma przed sobą każda komórka – umieraniu, kiedy przyjdzie na to odpowiedni czas. W organizmach roślinnych i zwierzęcych ciągle powstają nowe komórki. Pomyśl o swojej skórze i o tym, jak się ściera, jeśli posiedzisz długo w kąpieli. Pozbywamy się martwych komórek i zastępujemy je nowymi, żywymi. Życie i umieranie komórek to normalna cecha natury, a cały proces jest zaprogramowany w genach. Dlatego też komórki nowotworowe są tak niebezpieczne – nie umierają wtedy, kiedy powinny. Znaczna część współczesnych badań nad rakiem sprowadza się do tego, jak wpłynąć na gen, któremu nie udało się przekazać komórce, że nadeszła pora, aby przestała się dzielić. W 2002 roku Brenner i jego dwóch współpracowników otrzymali Nagrodę Nobla za wielką pracę nad małym nicieniem.

Przez ten czas jeden z naukowych kolegów Brennera, John Sulston (ur. 1942), był kierownikiem brytyjskiej grupy biorącej udział w projekcie poznania ludzkiego genomu. Projekt stał się symbolem nowoczesnej nauki. Był kosztowny i pracowały przy nim tysiące ludzi. Współczesny badacz rzadko bowiem jest wolnym strzelcem. Dzisiejsze prace naukowe zwykle mają dziesiątki, a nawet setki autorów. Do wykonania zadania potrzeba wielu specjalistów o różnych umiejętnościach. Minęło sporo czasu, od kiedy William Ha-

rvey sam badał serce albo Lavoisier korzystał w laboratorium jedynie z pomocy żony. Nad zsekwencjonowaniem ludzkiego genu pracowało kilka dużych laboratoriów. Każdemu zespołowi przydzielono inne chromosomy, więc niezbędne były współpraca i zaufanie. Wszystkie placówki naukowe musiały też odczytywać sekwencje z tą samą, wysoką dokładnością. Używały wielu mniejszych kawałków DNA, a następnie, za pomocą analizy komputerowej, łączyły je w jedną sekwencję. Utrzymanie tych laboratoriów wymagało dużych nakładów finansowych. Rząd Stanów Zjednoczonych wspierał zakłady Narodowych Instytutów Zdrowia i pozostałe biorące udział w projekcie. W Wielkiej Brytanii badania najpierw finansowano z rządowych grantów, a następnie z dotacji Wellcome Trust – dużej prywatnej fundacji wspierającej badania medyczne. Rządy francuski i japoński opłaciły mniejsze laboratoria, dzięki czemu program miał naprawdę międzynarodowy charakter.

Projekt poznania ludzkiego genomu – a w zasadzie cała współczesna nauka – byłby niemożliwy bez szybkich komputerów. Naukowcy musieli przeanalizować duże ilości danych, gdy przyglądali się każdej nici DNA i próbowali ustalić, gdzie się zaczyna i gdzie kończy. Dla ludzi ta praca byłaby przytłaczająca, ale komputery błyskawicznie ją wykonały. Dziś w wielu programach naukowych biorą udział informatycy zajmujący się sprzętem komputerowym i jego oprogramowaniem, a nie muszkami owocowymi czy probówkami.

Warto pamiętać także o tym, że współczesna nauka to duży biznes, na którym można sporo zarobić, ale najpierw trzeba też w niego sporo zainwestować. Projekt poznania ludzkiego genomu stał się wyścigiem między zespołami finansowanymi z publicznych środków a prywatną firmą założoną przez amerykańskiego przedsiębiorcę Craiga Ventera

(ur. 1946). Jako utalentowany biotechnolog Venter pomógł udoskonalić sprzęt, który przyspieszył sekwencjonowanie DNA. Chciał pierwszy odczytać ludzki genom, aby zdobyć patent na tę wiedzę i kazać płacić naukowcom i firmom farmaceutycznym za korzystanie z niej. Ostatecznie osiągnięto jednak kompromis między prywatną chęcią zysku a dobrem nauki. Cały ludzki genom jest dostępny bezpłatnie, ale niektóre sposoby wykorzystania tych informacji mogą zostać opatentowane, a uzyskane w ten sposób leki i testy diagnostyczne można sprzedawać w celu osiągnięcia zysku. Oczywiście dzisiaj ludzie płacą za zsekwencjonowanie swojego DNA, gdyż mają nadzieję, że ta wiedza pomoże im zachować zdrowie i uniknąć chorób, na które mogliby zapaść w przyszłości.

Projekt poznania ludzkiego genomu jest wymownym przykładem tego, ile szumu i reklamy robi się współcześnie wokół ważnych dziedzin nauki. Naukowcy muszą konkurować o ograniczone fundusze, więc czasami zawyżają znaczenie swoich badań, aby dostać granty. Dziennikarze opisują ich historie, starając się maksymalnie udramatyzować wiadomość, ponieważ zwykła nauka to żaden news. Każda wzmianka o odkryciu czy przełomowym dokonaniu trafia w oczekiwania opinii publicznej, która liczy na to, że lek lub metoda leczenia jest już niemal na wyciągnięcie ręki. Zwykle jednak upływa bardzo dużo czasu, zanim efekty badań naukowych da się wykorzystać w praktyce. Nową wiedzę zdobywamy codziennie i regularnie wprowadzamy nowe terapie. Niestety większość postępów w nauce odbywa się krok po kroku i rzadko towarzyszą temu błyski fleszów.

Odczytanie ludzkiego genomu było ogromnym osiągnięciem, ponieważ dostarczyło nam dużej wiedzy o zdrowiu i chorobach. Dzięki temu za jakiś czas opracujemy nowe leki przeciw nowotworom, chorobom serca, cukrzycy, de-

mencji i innym śmiertelnym schorzeniom naszych czasów. Dzięki pracy tysięcy naukowców różnych specjalności i z różnych krajów wszyscy będziemy mogli wieść zdrowsze życie.

Wielki Wybuch

Gdyby powstał film o dziejach wszechświata, czego byśmy się dowiedzieli, gdybyśmy go puścili od tyłu? Około 5 miliardów lat temu zniknęłaby nasza planeta, ponieważ właśnie wtedy najprawdopodobniej uformowała się z mgławicy słonecznej. Cofajmy się dalej, aż do początku. Co wtedy nastąpiło? Wielki Wybuch – eksplozja tak potężna, że jego temperatura i siła są odczuwane do dziś, po 13,8 miliarda lat.

Przynajmniej tak (z coraz większym przekonaniem) od lat czterdziestych XX wieku twierdzą naukowcy. Wszechświat zaczął się od punktu niewyobrażalnie gorącego i gęstego stanu, a potem nastąpił Wielki Wybuch. Od tamtej chwili stygnie i rozszerza się, więc galaktyki oddalają się od punktu początkowego. Nasza galaktyka jest dynamiczna i ekscytująca, a my jesteśmy w niej najmniejszą z małych kropek. Wszechświat składa się z gwiazd, planet i komet tworzących widoczne galaktyki, a także z dużej ilości niewidzial-

nych czarnych dziur oraz występujących w znacznie większej ilości ciemnej materii i ciemnej energii.

Czy Wielki Wybuch naprawdę nastąpił i wyjaśnia powstanie wszechświata? Oczywiście nikt tego dokładnie nie wie. A co się stało tuż przez Wielkim Wybuchem? Na te pytania nie potrafimy odpowiedzieć nawet z jakimkolwiek stopniem prawdopodobieństwa, a szukanie odpowiedzi na nie wymaga stosowania niezwykle zaawansowanej fizyki oraz kosmologii (nauka o strukturze i ewolucji wszechświata). Przez ostatnie pół wieku te pytania wywoływały dużo dyskusji, które nadal się toczą.

Około 1800 roku Laplace, francuski zwolennik fizyki newtonowskiej, przedstawił hipotezę dotyczącą powstania mgławicy słonecznej. Uważał, że Układ Słoneczny zrodził się z ogromnej chmury gazu. Przekonał wielu badaczy, że Ziemia ma długą historię, co pomogło wyjaśnić niektóre fakty, takie jak ciepło w środku planety, skamieliny i inne cechy geologiczne naszej planety. Wielu XIX-wiecznych naukowców z zapałem dyskutowało nad wiekiem Ziemi i naszej galaktyki – Drogi Mlecznej. W pierwszych dekadach XX wieku dwa wydarzenia radykalnie zmieniły treść postawionych wcześniej pytań.

Pierwszym było opracowanie przez Einsteina ogólnej teorii względności, która zmieniła pojmowanie czasu i przestrzeni. Einstein, obstając przy tym, że te dwa pojęcia są ze sobą blisko związane i tworzą czasoprzestrzeń, nadał wszechświatowi nowy wymiar. Ponadto z jego prac matematycznych wynikało, że przestrzeń jest zakrzywiona, więc geometria euklidesowa nie opisuje jej prawidłowo, jeśli rozpatrujemy duże odległości. We wszechświecie Euklidesa linie równoległe ciągną się w nieskończoność i nigdy się nie przetną i dlatego założył on, że przestrzeń jest płaska. W płaskim świecie Euklidesa suma kątów w trójkącie za-

wsze wynosi 180°. Jeśli jednak mierzy się trójkąt narysowany na kuli, której powierzchnia jest zakrzywiona, geometria euklidesowa nie działa. A skoro przestrzeń jest zakrzywiona, potrzebujemy innej matematyki do jej opisu.

Po zaakceptowaniu tych fundamentalnych prawd wynikających z błyskotliwej pracy Einsteina, fizycy i kosmologowie musieli wszystko przemyśleć na nowo. Zapoczątkowana przez Einsteina rewolucja w nauce dotyczyła głównie teorii, ale druga poważna zmiana w kosmologii nie była już teoretyczna. Bazowała na niepodważalnych obserwacjach, zwłaszcza przeprowadzonych przez amerykańskiego astronoma Edwina Hubble'a (1889–1953). Uczczono go, nazywając jego imieniem teleskop kosmiczny, który wahadłowiec wyniósł na orbitę okołoziemską w 1990 roku. Przyrząd ten pokazał znacznie więcej, niż było widać przez teleskop w kalifornijskim obserwatorium Mount Wilson, gdzie pracował naukowiec. W latach dwudziestych XX wieku Hubble zajrzał dalej w kosmos niż ktokolwiek przed nim. Dowiódł, że nasza galaktyka (Droga Mleczna) nie jest nawet początkiem końca wszechświata. Jest zaledwie jedną z nieprzeliczonych tysięcy innych galaktyk rozciągających się tak daleko, jak tylko dało się sprawdzić za pomocą teleskopu.

Kosmologowie pamiętają o Hubble'u także z powodu stałej nazwanej jego imieniem. (Być może pamiętasz stałą Plancka? Tu idea była podobna). Gdy światło się od nas oddala, następuje przesunięcie jego widzialnego spektrum w stronę większych długości fal, czyli **przesunięcie ku czerwieni**. Gdy światło zbliża się do nas, przesunięcie odbywa się w przeciwną stronę – ku fioletowi. Ten efekt astronomowie mogą z łatwością zmierzyć. Polega on na tym samym co zmiana dźwięku nadjeżdżającego i oddalającego się pociągu. Hubble zaobserwował, że światło odległych gwiazd wykazuje przesunięcie ku czerwieni. Doszedł zatem do wnio-

sku, że gwiazdy oddalają się od nas i że im dalej się znajdują, tym szybciej się poruszają. Wszechświat się rozszerza i wydaje się, że tempo tego procesu rośnie. Hubble zmierzył odległość gwiazd od Ziemi i wielkość przesunięcia ku czerwieni. Naniesione na układ współrzędnych wyniki układały się niemal w linię prostą. Na tej podstawie astronom obliczył **stałą Hubble'a**, a wynik opublikował w 1929 roku w poważanym czasopiśmie naukowym. Ta liczba pozwoliła kosmologom obliczyć wiek wszechświata.

Od tamtej pory zdołano uściślić wartość stałej Hubble'a, ponieważ zaobserwowano jeszcze dalsze gwiazdy i dokładniej zmierzono przesunięcie ku czerwieni. Niektóre z tych gwiazd są od nas oddalone o miliony lat świetlnych. Rok świetlny to odległość, jaką światło pokonuje w próżni przez rok, czyli około 9,5 biliona kilometrów. Dotarcie ze Słońca na Ziemię zajmuje promieniom słonecznym zaledwie osiem minut. Gdybyśmy odbili je z powrotem w kierunku Słońca, to w ciągu roku mogłyby wykonać 32 tysiące podróży w tę i z powrotem. Takie szacunki pozwalają nam lepiej zrozumieć, z jakimi odległościami i ogromnymi przedziałami czasu mamy do czynienia w kosmosie. Część z tego, co widzimy na nocnym niebie, to światło, które rozpoczęło swoją podróż bardzo dawno temu, a gwiazdy, które je wysłały, przestały już istnieć. Aby bardzo dokładnie wyznaczyć wartość stałej Hubble'a, musimy wiedzieć, jak daleko od nas znajdują się odległe gwiazdy i galaktyki. Pomimo tych komplikacji stała Hubble'a pozwala nam w przybliżeniu określić, jak długo światło do nas podróżowało. A na tej podstawie szacujemy wiek wszechświata, który zaczął się od Wielkiego Wybuchu.

Koncepcję Wielkiego Wybuchu spopularyzował George Gamow (1904–1968) w latach czterdziestych XX wieku. Ten urodzony w Rosji fizyk przyjechał do Stanów Zjednoczonych

na początku lat trzydziestych. Miał niezwykle barwną osobowość i kreatywny umysł i wniósł wiele do biologii molekularnej, a także fizyki i teorii względności. Na poziomie subatomowym razem z kolegami badał, w jaki sposób podczas rozpadu jądra atomowego dochodzi do emisji elektronów (cząstek beta). Na poziomie kosmicznym interesowało go, jak formują się mgławice (ogromne chmury gorących cząsteczek i pyłu międzygwiezdnego). Teoria Wielkiego Wybuchu, którą wraz z innymi opracował w 1948 roku, opierała się zarówno na znajomości budowy atomu, jak i na modelu zdarzeń, które mogły zajść na początku wszechświata.

Komponentami atomu były cząstki i siły. Pod koniec lat czterdziestych XX wieku dziedzinę fizyki, która się nimi zajmowała, nazywano **elektrodynamiką kwantową**. Jednym z tych, którzy pomogli nadać jej sens, był amerykański fizyk Richard Feynman (1918–1988). Słynął z diagramów, które rysował (czasem na restauracyjnych serwetkach), chcąc wyjaśnić pewne teorie. Grał też na bębnach bongo. W 1965 roku otrzymał Nagrodę Nobla, głównie za prace z dziedziny elektrodynamiki kwantowej, ponieważ rozwinął aparat matematyczny do opisu jeszcze mniejszych cząstek i sił, którymi zajmiemy się w dalszej części tego rozdziału.

Po drugiej wojnie światowej fizycy nadal przyspieszali atomy i cząstki w coraz potężniejszych akceleratorach, w których dochodzi do rozbicia atomów na mniejsze cząstki (co jest procesem odwrotnym do tego, który mógł zachodzić kilka chwil po Wielkim Wybuchu). Gdy tuż po Wielkim Wybuchu rozpoczęło się stygnięcie, zaczęły się też formować cząstki materii. Powstały z nich atomy, a z atomów pierwiastki i tak dalej – aż do roślin i gwiazd.

Równanie Einsteina $E = mc^2$ sugeruje, że przy bardzo dużych prędkościach, jakie osiąga się w akceleratorach – bliskich prędkości światła – masa zmienia się głównie w ener-

gię. Fizycy odkryli, że takie bardzo szybkie cząstki robią fascynujące rzeczy. Elektron wychodzi z akceleratora niezmieniony. Należy do rodziny cząstek podlegających oddziaływaniom słabym i zwanych **leptonami**. Okazało się, że proton i neutron są zbudowane z jeszcze mniejszych cząstek – **kwarków**. Istnieje kilka rodzajów kwarków, a każdy z nich ma ładunek elektryczny. Łączą się trójkami, tworząc neutrony lub protony.

We wszechświecie działają cztery rodzaje sił. Zrozumienie, jak są ze sobą powiązane, było jednym z największych wyzwań XX wieku. Grawitacja to najsłabsze oddziaływanie, ale o nieskończonym zasięgu. Nie odkryto jeszcze jego wszystkich tajemnic, choć uczeni zajmują się tym od czasu jabłka Newtona. Elektromagnetyzm oddziałuje na różne aspekty rzeczywistości. Siły elektromagnetyczne utrzymują elektrony na orbitach atomu, a dzięki światłu, które codziennie do nas dociera, wiemy, że Słońce wciąż świeci. W atomie istnieją także **oddziaływania słabe** i **oddziaływania silne**. Wiążą one cząstki w jądrze atomowym. Wszystkie oddziaływania (poza grawitacją) odbywają się poprzez wymianę cząsteczek – nośników sił – zwanych **bozonami**. Zalicza się do nich einsteinowski kwant światła, czyli foton, będący nośnikiem sił elektromagnetycznych.

Chyba najsłynniejszym bozonem jest ten, którego przez długi czas brakowało – bozon Higgsa. Fizycy szukali go od lat sześćdziesiątych XX wieku. Sądzili, że nadaje masę innym cząstkom. Znalezienie go pomoże wyjaśnić, w jaki sposób cząsteczki uzyskały masę zaraz po Wielkim Wybuchu. Fizycy byli przekonani, że zarejestrują bozon Higgsa w największym na świecie akceleratorze – Wielkim Zderzaczu Hadronów pod Genewą w Szwajcarii. Udało im się to w 2012 roku. Wielki Zderzacz Hadronów został zbudowany w latach 1998–2008 przez Europejską Organizację Badań

Jądrowych (z francuskiego: CERN). Została ona założona w 1954 roku w celu koordynowania współpracy naukowej kilku europejskich państw. Jeden kraj nie udźwignąłby takiego zadania, ponieważ badania fizyków w tym specjalistycznym zakresie są bardzo kosztowne, a do obsługi sprzętu oraz interpretacji danych uzyskanych w akceleratorze dla małych cząstek i ogromnych energii potrzeba wielu naukowców, techników i informatyków.

Odkrycie przewidzianego przez model standardowy bozonu Higgsa potwierdziło doświadczalnie tę teorię, obejmującą wszystkie oddziaływania oprócz grawitacji. Zbliża nas to – być może poprzez teorię strun – do poznania „teorii wszystkiego", czyli wszystkich sił i cząsteczek. Teoria strun bazuje na założeniu, że fundamentalne siły przyrody można rozpatrywać tak, jakby były jednowymiarowymi, drgającymi strunami. Potrzebna jest do tego bardzo zaawansowana matematyka. Prace nad tą teorią wciąż trwają.

Fizykę cząstek elementarnych dosyć trudno jest powiązać ze zwykłym światem, w którym żyjemy. Jednak naukowcy znajdują dla niej coraz więcej zastosowań ważnych w naszym codziennym życiu, takich jak energia jądrowa, telewizja, komputery, obliczenia kwantowe i sprzęt do diagnostyki medycznej. Lecz to nie jedyne zadanie badaczy. Muszą się jeszcze dużo dowiedzieć, aby wytłumaczyć teorię Wielkiego Wybuchu na podstawie tego, co można i czego nie można zobaczyć na odległych krańcach kosmosu.

W latach dwudziestych XX wieku rosyjski fizyk Aleksander Friedman (1888–1925) jako jeden z pierwszych szybko włączył ogólną teorię względności Einsteina do swojego aparatu matematycznego ułatwiającego rozumienie wszechświata. Równania Friedmana to reguły dotyczące rozszerzającego się kosmosu. Naukowca zastanawiało także, czy ma znaczenie fakt, że patrzymy na gwiazdy z Ziemi. Dla nas to wy-

jątkowe miejsce, ale czy jest ono szczególnym miejscem do prowadzenia obserwacji kosmosu? Uważał, że nie. Po prostu przypadkiem jesteśmy akurat tutaj. Wszechświat nie wyglądałby inaczej, gdybyśmy patrzyli na niego z innej planety, oddalonej o całe lata świetlne. To stwierdzenie w języku matematyki przekłada się na stałą kosmologiczną Friedmana. Wynika z niego jeszcze jeden ważny wniosek: materia we wszechświecie jest rozłożona jednorodnie. Oczywiście są lokalne odstępstwa, na przykład Ziemia jest znacznie gęstsza od otaczającej ją atmosfery. Gdy jednak popatrzy się z dalszej perspektywy, wniosek wydaje się prawdziwy. Współczesna kosmologia w znacznej mierze wciąż bazuje na modelu Friedmana. Musi także opisywać tak tajemnicze zjawiska jak czarne dziury i ciemna materia.

Członkowie Towarzystwa Królewskiego w Londynie dyskutowali o ciemnej materii w XVIII wieku. Opisanie jej dzisiejszego odpowiednika, czyli czarnych dziur, było dziełem genialnego współczesnego matematyka Rogera Penrose'a (ur. 1931) i znakomitego fizyka teoretyka Stephena Hawkinga (ur. 1942). Aż do przejścia na rentę Hawking zajmował to samo stanowisko co kiedyś Isaac Newton – profesora katedry Lucasa na uniwersytecie w Cambridge. Penrose i Hawking wyjaśnili, dlaczego łatwo wyobrazić sobie czarne dziury, ale nie można ich zobaczyć. Są to miejsca w kosmosie, gdzie stopniowo zapadają się umierające gwiazdy. W trakcie tego procesu ich materia osiąga coraz większą gęstość, więc siła grawitacji staje się tak duża, że fotony światła wpadają w pułapkę i nie mogą z niej uciec.

Istnieją także supermasywne czarne dziury. W 2008 roku w Chile, po szesnastu latach poszukiwań za pomocą teleskopu, potwierdzono istnienie supermasywnej czarnej dziury w Drodze Mlecznej – to Sagittarius A*. Astronomowie, pod kierunkiem niemieckiego astrofizyka Reinharda Genze-

la (ur. 1952), obserwowali ruch gwiazd orbitujących wokół czarnej dziury w centrum Galaktyki. Korzystali z pomiarów podczerwieni, ponieważ między Ziemią a czarną dziurą, oddaloną od nas o 27 tysięcy lat świetlnych, jest bardzo dużo gwiezdnego pyłu.

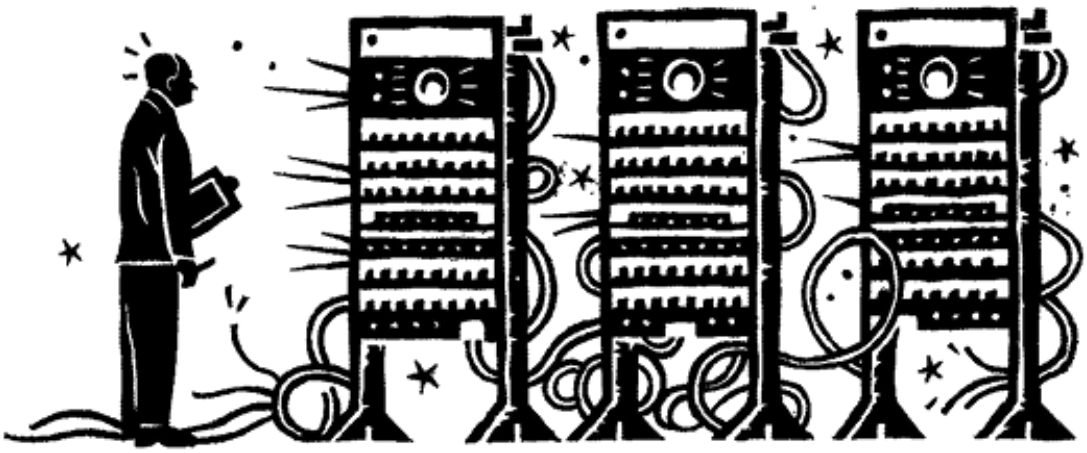
Supermasywne czarne dziury mogły mieć wpływ na formowanie się galaktyk i części kosmosu, której nie widzimy bezpośrednio – ciemną materię. Dziś uważa się, że ciemna materia stanowi aż 23% całej materii kosmosu, a widoczne gwiazdy, planety, gaz i kosmiczny pył – tylko 4%. Ciemną materię włączono do badań teoretycznych w latach trzydziestych XX wieku, aby wyjaśnić, dlaczego znaczne obszary kosmosu nie zachowują się zgodnie z ówczesnymi przewidywaniami. Naukowcy zdali sobie sprawę z tego, że nie zgadza się masa widocznej części materii z obserwowanymi efektami grawitacyjnymi. Czegoś brakowało. W latach siedemdziesiątych astronom Vera Rubin (ur. 1928) śledziła, jak poruszają się szybkie gwiazdy na skraju galaktyk. Ich prędkości były większe, niż zakładano. Tradycyjnie uważa się, że im dalej od centrum galaktyki znajdują się gwiazdy, tym wolniej powinny wokół niego krążyć. Dodatkową siłę grawitacji, która nadawałaby gwiazdom większą prędkość, mogłaby wytworzyć ciemna materia. Pośrednio Rubin wykazała zatem istnienie ciemnej materii, a naukowcy się z nią zgodzili. Jednak ciemna materia pozostaje dalej tajemnicą – w przyszłości trzeba ją znaleźć albo wykluczyć jej istnienie.

Współczesna kosmologia wyrosła z teorii Einsteina, tysięcy obserwacji, komputerowych analiz danych oraz przedstawionej w 1948 roku przez Gamowa koncepcji Wielkiego Wybuchu. Przez dwie dekady po jej opracowaniu fizycy niespecjalnie interesowali się początkiem wszechświata. Ale, jak każda dobra teoria naukowa, koncepcja Wielkiego Wybuchu Gamowa została zmodyfikowana. Musiała konkurować z in-

nym modelem wszechświata, zwanym **modelem stanu stacjonarnego** i kojarzonym głównie z Fredem Hoylem (1915–2001). Model Hoyle'a cieszył się pewnym poparciem wśród naukowców w latach pięćdziesiątych. Według niego świat był nieskończony – bez początku i końca. Ciągle tworzyła się w nim materia. Ta hipoteza stwarzała wiele problemów, a jej żywot był bardzo krótki.

Dziś fizycy dysponują zebranymi w akceleratorach informacjami o krótko żyjących cząsteczkach i siłach. Znają wyniki obserwacji w odległych rejonach kosmosu. Byli w stanie dopracować teorię Wielkiego Wybuchu. Jej szczegóły, a nawet fundamentalne zasady, wciąż jeszcze budzą wiele kontrowersji, ale w nauce nie jest to niczym niezwykłym. Teoria Wielkiego Wybuchu nadaje sens większości dokonywanych obecnie pomiarów, w tym przesunięciu ku czerwieni światła odległych gwiazd, promieniowaniu tła i fundamentalnym siłom atomowym. Uwzględnia czarne dziury i ciemną materię. Nie mówi jednak, dlaczego doszło do Wielkiego Wybuchu. Ale nauka zajmuje się przecież odpowiadaniem na pytanie „jak", a nie „dlaczego". Niektórzy fizycy i kosmologowie, tak jak przedstawiciele innych dziedzin nauki, wyznają jakąś wiarę, inni – nie. I tak powinno być. Najlepsza nauka rodzi się w atmosferze tolerancji.

ROZDZIAŁ 40



Nauka w erze cyfrowej

Gdy następnym razem włączysz komputer, prawdopodobnie nie będziesz robić żadnych obliczeń. Zapewne coś obejrzysz, napiszesz maile do znajomych albo sprawdzisz wynik ostatniego meczu. Początkowo jednak komputery miały być maszynami liczącymi szybciej i dokładniej niż nasze mózgi.

Komputery to dla nas szczyt techniki, lecz sama idea prowadząca do ich skonstruowania jest bardzo stara. W XIX wieku angielski matematyk Charles Babbage (1791–1871) wymyślił maszynę liczącą, którą dałoby się zaprogramować. Na przykład można było ją ustawić tak, aby odliczyła liczby całkowite do miliona, a później przeskoczyła do 1 000 002. Każdy, kto uważnie obserwowałby odliczanie od miliona, byłby zdziwiony, że dalej brakuje jednej liczby. Babbage chciał pokazać, że maszyna może robić rzeczy, których się nie spodziewamy, bo nie są zgodne z normalnym biegiem rzeczy.

Pod koniec XIX wieku amerykański matematyk i wynalazca Herman Hollerith (1860–1929) zbudował niezwykłą maszy-

nę elektryczną wykorzystującą dziurkowane karty do analizowania dużych ilości danych. Jeśli karta została odpowiednio podziurkowana i włożona do czytnika, maszyna odczytywała ją i przetwarzała dane. Maszyna Holleritha przydawała się do analizowania informacji z formularzy spisu ludności, które rząd zbierał na potrzeby statystyczne, aby więcej wiedzieć o społeczeństwie. Urządzenie to potrafiło bardzo szybko przeliczyć proste dane, takie jak wysokość zarobków, liczbę osób w każdym gospodarstwie domowym oraz ich wiek i płeć. Aż do drugiej wojny światowej karty dziurkowane pozostały główną metodą wprowadzania danych do komputerów.

Podczas drugiej wojny światowej te nowinki techniczne znalazły zastosowanie w armii. Komputery mogły obliczyć, jak daleko dolecą pociski. Wykorzystywano je także do tajnych zadań, takich jak próby odczytania zaszyfrowanych wiadomości wroga. Niemcy, Brytyjczycy i Amerykanie rozwijali możliwości komputerów, aby zwiększyć bezpieczeństwo podczas wojny. Współczesne komputery otwierają przed nami świat, a ich historia zaczęła się od maszyn, do których dostęp miało niewiele osób o największym stopniu wtajemniczenia – oto dowód na to, jak nieprzewidywalny jest postęp techniczny.

Brytyjczycy i Amerykanie używali komputerów do analizowania zaszyfrowanych niemieckich wiadomości. Brytyjski ośrodek dekodowania mieścił się w starej wiejskiej posiadłości Bletchey Park w hrabstwie Buckinghamshire. Niemcy posługiwali się dwoma urządzeniami szyfrującymi: Enigmą i maszyną Lorenza. Codziennie zmieniali kody, więc maszyny dekodujące musiały być łatwe do adaptowania. Brytyjczycy zaprojektowali dwa komputery do łamania kodów: Bombe (Bomba) i Colossus (Kolos). Colossus miał stosowną nazwę, ponieważ był ogromną maszyną zajmującą kilka po-

mieszczeń i zużywającą dużo prądu. Komputery miały wbudowane próżniowe lampy elektronowe do przełączania sygnałów elektrycznych. Lampy wydzielały bardzo dużo ciepła i nieustannie się psuły. Rzędy lamp oddzielały szerokie przejścia, aby technicy mogli swobodnie podejść i wymienić te z przepalonymi drucikami. W tamtych czasach usuwanie awarii polegało na mechanicznym usuwaniu ciem lub much (angielskie słowo *bug* znaczy ‘owad, insekt’), które wpadały między gorące szklane lampy i wyłączały system. (Dziś, przez analogię, angielskie *bug* to także błędy oprogramowania, a ich usuwanie za pomocą specjalnych programów to debugowanie). Ale i tak kryptolodzy dzięki swojej pracy skrócili wojnę i niewątpliwie pomogli aliantom ją wygrać.

W Bletchey Park pracował wyjątkowy matematyk – Alan Turing (1912–1954). Ukończył King’s College w Cambridge, gdzie jego wybitny talent dostrzeżono już na początku lat trzydziestych. Przedstawił ważne teorie z dziedziny matematyki komputerowej i miał ogromny wkład w dokonania w Bletchey Park. Po wojnie nadal pracował nad swoimi koncepcjami. Miał cenne spostrzeżenia dotyczące **sztucznej inteligencji** i podobieństw oraz różnic między sposobem działania komputerów a ludzkich mózgów. Pracował nawet nad maszyną grającą w szachy. Zwykle arcymistrzowie szachowi nadal wygrywają z komputerem, ale maszyny są coraz lepsze w tej grze. W londyńskim Narodowym Laboratorium Fizycznym w Teddington Turing opracował jeden z pierwszych komputerów elektronicznych ACE. Urządzenie miało dużo większe możliwości obliczeniowe niż poprzednie wynalazki. Życie Turinga zakończyło się tragicznie. Był homoseksualistą w czasach, gdy w Wielkiej Brytanii ta orientacja seksualna była nielegalna. Aresztowany przez policję i zmuszony do poddania się terapii hormonalnej, która miała go „wyleczyć”, prawdopodobnie popełnił samobójstwo,

zjadając jabłko zatrute cyjankiem. Jego życie i śmierć utwierdzają nas w przekonaniu, że nauka nie dzieli ludzi na rasy, płeć, orientację religijną czy seksualną.

Zbudowane podczas wojny ogromne maszyny były przydatne, ale ich użyteczność ograniczały przegrzewające się lampy próżniowe. Do czasu, aż wynaleziono tranzystor, który zrewolucjonizował komputery i inne urządzenia. Skonstruowany pod koniec 1947 roku przez Johna Bardeena (1908–1991), Waltera Brattaina (1902–1987) i Williama Shockleya (1910–1989), wzmacniał i przełączał sygnały elektroniczne. Był zdecydowanie mniejszy od lampy próżniowej i wydzielał znacznie mniej ciepła. Dzięki temu wszelkie urządzenia elektryczne, jak radioodbiorniki tranzystorowe, stały się mniejsze i wydajniejsze. Tych trzech naukowców podzieliło się Nagrodą Nobla w dziedzinie fizyki, a Bardeen dostał ją ponownie za badania nad **półprzewodnikami**, czyli materiałami, bez których nie byłoby tranzystorów i współczesnych układów scalonych.

Podczas zimnej wojny, w latach 1945–1991, wojsko nadal pracowało nad udoskonaleniem komputerów. Dwa supermocarstwa, Stany Zjednoczone i Związek Radziecki, nie miały do siebie zaufania, mimo że podczas drugiej wojny światowej były sojusznikami. W każdym z tych państw używano komputerów do analizowania danych o aktywności drugiego mocarstwa. Coraz większa moc obliczeniowa komputerów przydawała się też naukowcom. W latach sześćdziesiątych fizycy z pożytkiem zastosowali te nowsze, ulepszone maszyny. Akceleratory wysokich energii dostarczały tylu danych, że armia ludzi z ołówkami i kartkami papieru nie dałaby rady ich opracować.

Coraz częściej w skład zespołów naukowych wchodzili specjaliści od komputerów, a budżety na badania obejmowały ich pensje i sprzęt. Zatem sensownym rozwiązaniem wyda-

wało się, aby różne zespoły mogły porozumiewać się nie tylko tradycyjną drogą (czyli bezpośrednio człowiek z człowiekiem), ale też za pośrednictwem komputerów. Tak potrzebny do komunikacji telefon wszedł do użytku mniej więcej sto lat wcześniej, a przesyłanie wiadomości za pomocą telegrafu wynaleziono jeszcze wcześniej. Na początku lat sześćdziesiątych XX wieku wymyślono **wymianę pakietów**. Cyfrowe wiadomości można było podzielić na mniejsze pakiety i każdy z nich wysłać najprostszą drogą, a gdy dotarły do celu, zestawić je na nowo na ekranie komputera osoby odbierającej wiadomość. Gdy rozmawiasz przez telefon stacjonarny, komunikacja odbywa się w czasie rzeczywistym, więc nikt inny nie może do ciebie zadzwonić. Na komputerze możesz wysyłać i odbierać wiadomości – maile lub posty z witryn – i będą one dostępne w każdej chwili.

Wymianę pakietów wynaleziono równocześnie w Stanach Zjednoczonych i w Wielkiej Brytanii. Jako element systemu bezpieczeństwa narodowego pozwalała ona wojskowym albo przywódcom politycznym na porozumiewanie się ze sobą i miała działać także w sytuacji, gdyby inne kanały komunikacji zostały zniszczone. Wymiana pakietów ułatwiła połączenie ze sobą grup komputerów, doprowadzając do utworzenia sieci komputerowych. Pierwsze niewojskowe sieci powstały na wyższych uczelniach. Współcześnie pracują one na rzecz nauki na całym świecie. W latach sześćdziesiątych z mniejszych i szybszych komputerów skorzystały przede wszystkim społeczności akademickie. Mimo wszystko te urządzenia były dalej ogromne, bardzo powolne i niezwykle drogie w porównaniu ze współczesnymi komputerami. Z pewnością ucieszy cię informacja, że już wtedy można było grać w gry komputerowe, a więc nowy typ rozrywki zaczął się wcześnie rozwijać. Tempo udoskonalania tych elektronicznych maszyn wzrosło w latach siedemdzie-

siątych. Komputery z ekranem i klawiaturą – a raczej mikrokomputery, jak je wtedy nazywano – mieściły się już na biurku. Oparte były na znacznie potężniejszych mikroprocesorach. Rozpoczęła się rewolucja w segmencie komputerów osobistych. Większość innowacji opracowano w Dolinie Krzemowej w Kalifornii.

Komputery nadal zmieniały tryb pracy społeczności akademickich i ich sposoby komunikowania się ze sobą. Jedna z najliczniejszych grup fizyków na świecie pracowała wówczas w Europejskim Ośrodku Badań Jądrowych (CERN), gdzie znajduje się Wielki Zderzacz Hadronów – najszybszy na świecie akcelerator cząstek (rozdział 39). W latach osiemdziesiątych i dziewięćdziesiątych specjaliści komputerowi z CERN-u wznieśli sieci i analizę danych komputerowych na nowy poziom. Jednym z nich był Tim Berners-Lee (ur. 1955). Zawsze fascynowały go komputery (jego rodzice pracowali przy pierwszym komercyjnie sprzedanym komputerze). Berners-Lee studiował fizykę w Oksfordzie, a następnie wyjechał do pracy w CERN-ie. W 1989 roku wystąpił o fundusze na badania nad „zarządzaniem informacją". Szefowie udzielili mu pewnego wsparcia, a on nalegał na ułatwienie dostępu do rosnącej liczby informacji w Internecie każdemu, kto ma komputer i linię telefoniczną. Wraz z Robertem Cailliau (ur. 1947) stworzyli sieć WWW. Początkowo używano jej tylko w CERN-ie i paru innych laboratoriach fizycznych. W 1993 roku stała się publicznie dostępna. Zbiegło się to z masowym upowszechnieniem się komputerów nie tylko w pracy, ale i w domu. Ludzie, którzy przewodzili rewolucji na rynku komputerów osobistych, jak Bill Gates (ur. 1955) z Microsoftu i Steve Jobs (1955–2011) z firmy Apple, stali się bohaterami współczesnej nauki (i bogaczami). Rok 1955 okazał się wyjątkowo dobry dla kompu-

terów, ponieważ na świat przyszli wtedy Berners-Lee, Gates i Jobs.

Szybkość rozwoju komputerów, począwszy od lat siedemdziesiątych, pokrywała się z tempem tworzenia metod sekwencjonowania genomu. To nie przypadek, że jedne i drugie wydarzenia miały miejsce w tym samym czasie. Nie można prowadzić współczesnych badań naukowych bez nowoczesnych technologii. Znalezienie rozwiązań wielu fundamentalnych problemów naukowych – od opracowywania nowych leków po modelowanie zmian klimatu – zależy od tych maszyn. W domu używamy ich do odrabiania lekcji, kupowania wakacyjnych wycieczek czy grania w gry. Wbudowane systemy komputerowe sterują samolotami, wspomagają obrazowanie medyczne i piorą nasze ubrania. Współczesne życie, podobnie jak współczesna nauka, jest uzależnione od komputerów.

Nie powinniśmy być tym zaskoczeni. Jedną z rzeczy, które starałem się pokazać w tej książce, jest to, że w każdym momencie dziejów nauka była produktem chwili. Chwila Hipokratesa różniła się od chwili Galileusza czy Lavoisiera. Ubierali się, odżywiali i myśleli jak inni żyjący w ich czasach. Opisani w tej książce ludzie rozumowali jednak bardziej przenikliwie niż większość im współczesnych i potrafili przekazać swoje idee. Dlatego ich rozważania i pisma są warte tego, byśmy o nich pamiętali.

Współczesna nauka ma większe możliwości niż kiedykolwiek dotąd. Komputery przydają się przestępcom i hakerom, a także naukowcom i studentom. Naukę i technologię można z łatwością wykorzystać w złym celu, jak i ku ogólnemu pożytkowi. Potrzebujemy dobrych naukowców, a także i dobrych obywateli, którzy zagwarantują, że dzięki nauce świat stanie się lepszym miejscem do życia.